

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: N3106 - Textilní inženýrství

Vliv vlhkosti na propustnost tkanin pro pracovní oděvy

Moisture influence on permeability of fabric for working clothes

Autor: Jaroslav Čekon

Vedoucí práce: prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.

Rozsah práce:

Počet stran: 53
Počet tabulek: 1
Počet obrázků: 29
Počet příloh: 3

15. 5. 2006

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Liberci, dne 15. 5. 2006

.....

Podpis

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená *diplomová (bakalářská)* práce je původní a zpracoval/a jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušil/a autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním *diplomové (bakalářské)* práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byl/a jsem seznámen/a s tím, že na mou diplomovou (*bakalářskou*) práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové (*bakalářské*) práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové (*bakalářské*) práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užití své diplomové (*bakalářské*) práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Beru na vědomí, že si svou diplomovou práci mohu vyzvednout v Univerzitní knihovně TUL po uplynutí pěti let po obhajobě.

V Liberci, dne 16 .5. 2005

.....

..

Podpis

Pod'akovanie:

Na tomto mieste by som veľmi rád poďakoval vedúcemu práce Prof. Ing. Lubošovi Hesovi, DrSc za ochotu, podnetné rady a za zodpovedné vedenie pri tvorbe tejto diplomovej práce.

Taktiež by som rád poďakoval Ing. Martinovi Boškovi za rady, ktoré mi poskytol pri spracovaní výsledkov.

Pod'akovanie ďalej patrí mojej rodine, ktorá ma podporovala počas celého štúdia na tejto univerzite.

Anotácia

Táto práca sa zaoberá problematikou vplyvu vlhkosti na priepustnosť a priedušnosť tkanín používaných na výrobu pracovných odevov. V práci sa nachádzajú aj základné poznatky o termofyziologickom komforte a spôsoby hodnotenia skúmaných vlastností. V experimentálnej časti práce je rozobraný spôsob merania relatívnej priepustnosti a priedušnosti pri rôznych stupňoch zavlhčenia. Následne je každá z použitých tkanín vyhodnotená na základe získaných poznatkov o jej štruktúre a vlastnostiach pri zvyšujúcich sa úrovniach vlhkosti.

Kľúčové slová: Priedušnosť, relatívna priepustnosť, hmotnostný prívažok, termofyziologický komfort.

Annotation

This work deals with influence problems of moisture on water permeability and air permeability of fabrics use for working dress production. There are also basic notes about thermophysiological comfort and classification of researched characteristics in this work. In the experimental part of work is described the way of measurement of vapour permeability and air permeability with a different levels of moisteling. After that is the every of used fabric analysed on the base of earned skills of the structure and characteristics at raising levels of moisture.

Keywords: Air permeability, vapou permeability, fair weight of weight, thermophysiological comfort

Zoznam použitých symbolov

k	konštanta
m	hmotnosť [kg]
Δp	parciálny rozdiel tlaku [Pa]
S	plocha [m ²]
v	rýchlostný koeficient prenosu páry [m s ⁻¹]
R_p	plynná konštanta vodnej pary [m K ⁻¹]
T	absolutná teplota [K]
p	relatívna priepustnosť vodnej pary [%]
Θ	uhol zmáčania
γ_p	povrchové napätie na rozhraní pevnej látky a vzduchu
γ_{kp}	povrchové napätie na rozhraní pevná látka – kvapalina
γ	povrchové napätie na rozhraní kvapalina vzduch
F	sila [N]
l	dĺžka [m]
u	hmotnostný prívazok [%]
m_v	hmotnosť vlhkého vzorku [kg]
m_s	hmotnosť suchého vzorku [kg]
m_s	plošná hmotnosť [g/m ²]
j_d	molárny difúzny tok častíc [mol m ⁻² s ⁻¹]
$\frac{dc}{dx}$	gradient koncentrácie c podľa osy x [mol m ⁻³]
D	difúzny koeficient [m ² s ⁻¹]

Obsah

ÚVOD	8
ODEV	10
TRANSPORT VLHKOSTI	11
KAPILÁRNY ODVOD	13
ODVOD MIGRÁCIOU	13
DIFÚZIA	14
SORPCIA	15
TERMOFYZIOLOGICKÝ KOMFORT	18
GRAVIMETRICKÁ METÓDA	19
<i>Obrázok č.6 – Gravimetrické metódy merania priepustnosti textílií pre vodné pary.....</i>	<i>19</i>
METÓDA DREO	20
SKIN MODEL	20
SKÚŠKA ZA STACIONÁRNYCH PODMIENOK	21
SKÚŠKA ZA NESTACIONÁRNYCH PODMIENOK	22
MERANIE POMOCOU PRÍSTROJA PERMETEST	23
<i>Stanovenie relatívnej priepustnosti pre vodné pary</i>	<i>24</i>
<i>Stanovenie výparného odporu:</i>	<i>25</i>
<i>Stanovenie tepelného odporu</i>	<i>25</i>
PRIEDUŠNOSŤ TEXTÍLIÍ	25
<i>Definícia priedušnosti</i>	<i>26</i>
<i>Meranie priedušnosti</i>	<i>26</i>
<i>Prístroj FX 3300 pre meranie priedušnosti textílií</i>	<i>27</i>
PRIEDUŠNOSŤ A PRIEPUSTNOSŤ ZA VLHKA	28
EXPERIMENTÁLNA ČASŤ	31
POUŽITÉ MATERIÁLY	31
POPIS EXPERIMENTU	32
HODNOTENIE TEXTÍLIÍ	34
<i>Bavlnené tkaniny</i>	<i>34</i>
<i>Materiály so štruktúrnym podielom polyesteru a bavlny</i>	<i>40</i>
ZÁVER	50
LITERATÚRA:	55

Úvod

Skúmanie komfortných vlastností odevných materiálov zaznamenalo v poslednom období stúpajúci trend. Na tomto vývoji sa podpísalo množstvo skonštruovaných zariadení slúžiacich na tieto účely. Za pomoci týchto účelných zariadení je možné vyvíjať nové, lepšie a lacnejšie materiály, ktoré nás budú dokonalejšie chrániť pred okolitými vplyvmi prostredia.

Aj v tejto diplomovej práci sa budeme zaoberať komfortnými vlastnosťami tkanín využívajúcich sa na výrobu pracovných odevov. Tieto komfortné vlastnosti však budú skúmané za iných podmienok než doposiaľ, a to pri ich vlhkom stave, kde bude hodnotená relatívna priepustnosť vodných pár a priepustnosť pre vzduch. Experiment popísaný v tejto práci naväzuje na poznatky Y. J. Rena a J. E. Ruckmanovej, ktorý hodnotili priepustnosť vodných pár tradičnou metódou. Ako experimentálne vzorky použili hydrofilnú a polyuretánovú laminovanú membránu. Ich experiment bol prevádzaný na prístroji Turtl dish. Toto zariadenie sa skladá z nádoby s tekutinou, ktorá sa samovoľne odparuje a prechádza skrz textíliu. Táto odparovaná tekutina je snímaná snímačmi a hodnotí sa jej odparený objem v závislosti na čase. Medzi tekutinou a textíliou sa nachádza 6 mm medzera. Vyššie zmienený experimentátori vzostupne zavlhčovali použité membrány tekutinou a pozorovali zmeny na priepustnosti pre vodné pary. Do textílií bola pridávaná tekutina pri štyroch úrovniach (0,1 0,2 0,3 0,4 g H₂O). Jedno takéto meranie trvalo až 4 hodiny. Týmto experimentom zistili, že textília, ktorá je zavlhčená vyšším podielom H₂O vykazuje nižšiu priepustnosť pre vodné pary. [1]

Ako už bolo zmienené textílie boli hodnotené za pomoci metódy Turtl dish, kde sa medzi hodnoteným vzorkom a vodnou hladinou nachádza 6 mm medzera. Môžeme teda hovoriť o tradičnom spôsobe merania priepustnosti vodných pár. My sa však budeme v tejto práci zaoberať hodnotením relatívnej priepustnosti na tzv. Skin modele. Prístroje konštruované na základe tohto modelu simulujú prechod vodnej pary pri priamom kontakte s pokožkou.

Na Technickej univerzite v Liberci bol vyvinutý prístroj pod názvom Permetest, ktorý sníma pri priamom kontakte prechod vodných pár medzi textíliou a pokožkou. Práve na tomto zariadení boli premeriavané tkaniny použité v tejto práci. Jednou z výhod tohto prístroja je rýchle vyhodnocovanie výsledkov, čím sa znižuje predpoklad ovplyvňovania merania okolitými klimatickými zmenami. S touto výhodou súvisí aj predpoklad vyššej presnosti merania relatívnej priepustnosti.

Odev

Odev je textilná vrstva kde dochádza k prechodu tepla, vlhkosti a vzduchu. Na základe použitých materiálov sú zmienené prechody buď urýchlňované, alebo brzdené. Odev teda napomáha termoregulácii organizmu v podmienkach, keď to telo samo nedokáže. Prechody odevom môžeme chápať ako prechody nehomogennou vrstvou. Na základe prijímania vlhkosti a tepla menia textilné vlákna svoju konfiguráciu štruktúry. Ako príklad môžeme uviesť bavlnenú textíliu v ktorej pri zavlhčení dochádza k botnaniu vlákien, čím klesá pórovitosť plošnej textílie a znižuje sa jej priedušnosť. Deje, ktoré v textílii vznikajú sú prevažne nestacionárneho charakteru.

Medzi najdôležitejšie funkcie odevu patrí zaistenie termofyziologického komfortu. Práve táto skutočnosť je hlavnou podmienkou normálnej životnej činnosti človeka, prejavujúcej sa v jeho dobrom subjektívnom stave. [2]

V posledných rokoch sa najviac pozornosti sústreďuje na fyziologické vlastnosti odevu. Medzi tieto vlastnosti môžeme zahrnúť priedušnosť (pre vzduch) a priepustnosť (pre vodnú paru), tepelnú priepustnosť, savosť vody a splývavosť.

To ako bude odevný materiál prepúšťať vodnú paru závisí okrem stupňa zavlhčenia tiež na finálnej úprave danej plošnej textílie. Vzhľadom na použitie odevných materiálov sa aplikujú rôzne typy povrchových úprav, ako napríklad: hydrofóbná, nešpinivá, nekrčivá, atd.

Priepustnosť plošných textilných útvarov závisí predovšetkým na atmosférickom tlaku, teplote, vlhkosti a prúde vzduchu.

Termofyziologický komfort je podmienený transportom tepla a vlhkosti cez jednotlivé vrstvy, alebo textilné sústavy.

- Prestup tepla
- Prestup vlhkosti
 - Para
 - Kvapalina

Úroveň termofyziologického komfortu môžeme rozdeliť na dve situácie:

- o normálna situácia pri nosení (nepociťované potenie)
- o nestacionárna situácia pri nosení (mierne a silné potenie)

Fyziologický komfort vyjadruje stav tepelnej rovnováhy. [3] Tá nastáva, ak pri normálnom prekrvení organizmu nedochádza k poteniu a ani nenastáva pocit chladu. Z hľadiska organizmu nedochádza k termoregulácii. Je to stav fyziologickej, psychologickej a fyzikálnej rovnováhy medzi prostredím a človekom. V takýchto podmienkach teoreticky môže organizmus pracovať neobmedzene dlho. [3]

Odev pomáha udržiavať tepelnú rovnováhu čím vytvára určitú mikroklímu, ktorá dodáva telu pocit pohodlia. Mikroklíma je závislá na vlastnostiach odevu, a na klimatických podmienkach vonkajšieho prostredia. [2]

Mikroklímu ovplyvňuje:

- Teplota
- Vlhkosť
- Objem plynu

Transport vlhkosti

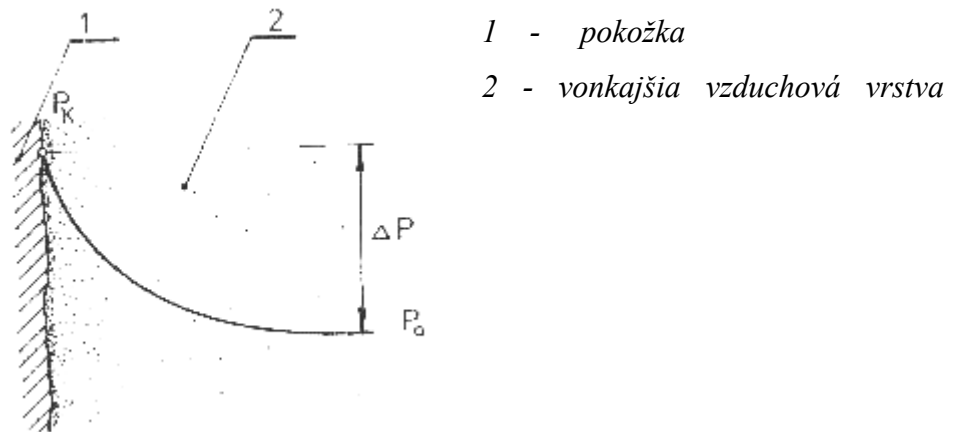
V procese tepelnej regulácie ľudského organizmu je odvádzanie tepla z pokožky sprevádzané samovoľným potením. Pri vnútornej teplote $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ organizmus odovzdáva od okolia približne $0,03\text{ l h}^{-1}$ potu. Pokiaľ je táto teplota vyššia, organizmus odovzdáva pot v objeme až $0,4\text{ l h}^{-1}$. Na objem vylúčeného potu vplýva aj teplota okolia a záťaž organizmu. Predpokladom je, aby bolo okolité prostredie schopné toto množstvo vodnej pary prijať, teda aby bol rozdiel parciálnych tlakov určujúcich rýchlosť odvodu vlhkosti čo najvyšší. [2]

$$\Delta P = P_k - P_o$$

ΔP - parciálny spád

P_k – tlak pokožky

P_o – tlak okolia



Obrázok č.1 - Odvod vlhkosti z povrchu organizmu

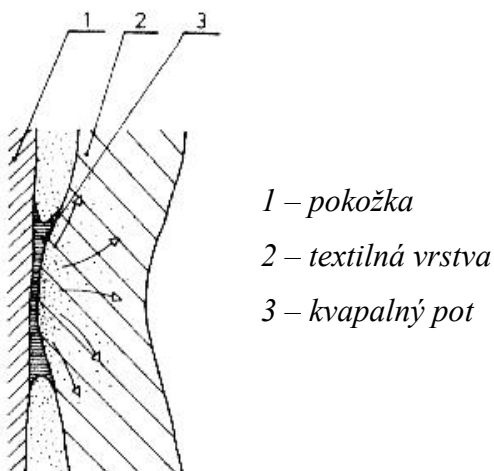
Ak sa znižuje tento rozdiel, odvod vlhkosti klesá a ochladzovací účinok systému sa postupne vytráca. Tento jav nastáva za predpokladu bez odevných vrstiev.

Pri použití odevných vrstiev je situácia zložitejšia. Tento systém pracuje podľa iných princípov a vlhkosť je z pokožky odvádzaná:

- Kapilárne
- Migračne
- Difúziou
- Sorpčne

Kapilárny odvod

Kapilárny odvod pracuje na princípe odsávania kvapalného potu prvou textilnou vrstvou čiže jej kapilármi. Vzlína do jej plochy všetkými smermi. Jedná sa o tzv. knôtový efekt. Dochádza k nepatrnému znižovaniu parciálneho tlaku vodnej pary v mikroklimé. Textilná je zo strany pokožky zmáčaná odsávajúcim sa potom. Priestup tepla je závislý na parciálnom spáde tlaku ΔP . Tento typ odvodu je ďalej závislý na absorpčnej schopnosti textílie a vlákien, na povrchovom napätí vlákien a potu. Pri použití zmesových textílií vo veľkej miere rozhoduje podiel použitých vlákien v priadkach. [2]



Obrázok č.2 - Odvod potu prvou textilnou vrstvou

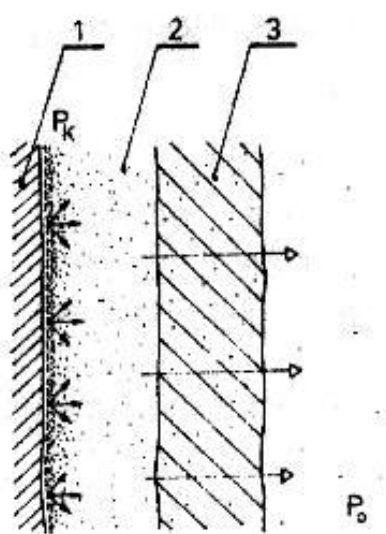
Odvod Migráciou

Migrácia potu po povrchu vlákien vzniká teplotným spádom medzi okolím a teplotou povrchu tela, čiže mikroklimou. Za takýchto podmienok dochádza ku kondenzácii vlhkosti na povrchu vlákna. Tekutina ktorá vzniká pri kondenzácii je odvedená do kapilárneho priestoru, alebo migruje po povrchu vlákien. K migrácii dochádza aj u tekutiny, ktorá bola do textílie dopravená kapilárrou, teda vodou

kvapalnou. Tento jav nastáva u vlákien, ktoré majú nízku schopnosť navlhavosti, respektíve neprijímajú žiadnu vlhkosť do svojej štruktúry. [2]

Difúzia

Tento prestup vlhkosti z povrchu pokožky cez textíliu je realizovaný prostredníctvom pórov, ktoré sa svojou veľkosťou a tvarom zúčastňujú kapilárneho odvodu.



$$P_K > P_o$$

1 – pokožka

2 – mikroklíma

3 – vrstva textílie

Obrázok č.3 - Odvod difúziou

Vlhkosť prestupuje textíliou do nižšieho parciálneho tlaku vodnej pary. Odev je zložený z niekoľkých medzivrstiev. Jednotlivé textilné medzivrstvy nemajú rovnaký difúzny odpor a tým dochádza k zbrzdovaniu prestupu. V tomto prípade sa vplyv použitej vlákennej suroviny neprejavuje, pokiaľ vlákna nemenia svoju geometriu botnaním. [2]

Difúzny odpor, ktorý kladie textíliá prieniku vodnej pary, je daný vzťahom:

$$R_{dif} = \frac{k}{m} * \Delta p \quad [ms^{-1}] \quad (1)$$

k – konštanta

m – hmotnosť [kg]

Δp – parciálny rozdiel [Pa]

Základný vzťah pre prenos vodných pár je modifikáciou Fickovho zákona pre stacionárny dej.

$$j_d = -D \frac{dc}{dx} \quad (2)$$

j_d – molárny difúzny tok častíc [$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]

$\frac{dc}{dx}$ – gradient koncentrácie c podľa osy x [mol m^{-3}]

D – difúzny koeficient [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$]

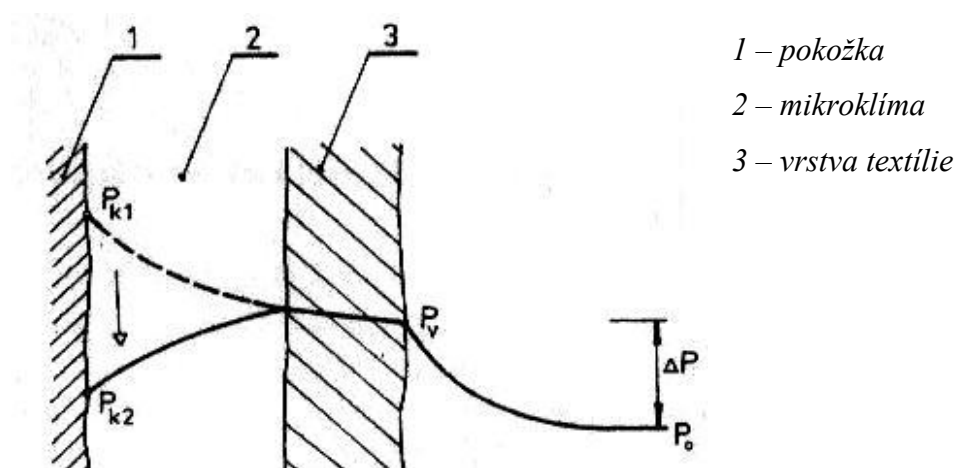
Sorpcia

Sorpčný proces predpokladá najskôr vznik vlhkosti či kvapalného potu do neusporiadaných medzimolekulových oblastí v štruktúre vlákna a následné naviazanie na hydrofilné skupiny v molekulovej štruktúre. Oproti predchádzajúcim spôsobom je tento proces najpomalším a predpokladá to aby textília bola aspoň čiastočne vyrobená zo sorpčných vlákien.

Uvedené spôsoby odvodu vlhkosti sú súčasťou termoregulácie a na tomto procese sa zúčastňujú súčasne. Kapilárny spôsob odvádza pot ako kvapalinu, difúzny, migračný a sorpčný ako kvapalinu, tak aj vodnú paru, ktorej hromadenie v mikroklimе spôsobuje pocit diskomfortu (pokožka je zmáčaná množstvom neodvedeného potu). Pre tento stav existujú popísané štyri spôsoby: najrýchlejším z nich je kapilárny, migračný a difúzny, na poslednom mieste sorpčný spôsob. Pre znášateľnosť organizmu a pocit komfortu je najvhodnejšia kombinácia difúzneho a sorpčného spôsobu. Optimálnu hodnotu jednotlivých priepustností môžeme

dosahovať štruktúrou jednotlivých textilných vrstiev, pričom vrstvy v kontakte s pokožkou musia odvádzať najväčší objem vlhkosti. Rýchly odvod vlhkosti by mal za následok nadmerné ochladzovanie povrchu tela, preto je nutná kombinácia difúzneho a sorpčného odvodu vlhkosti, kde sorpčný spôsob pôsobí ako tlmiaci mechanizmus. [2]

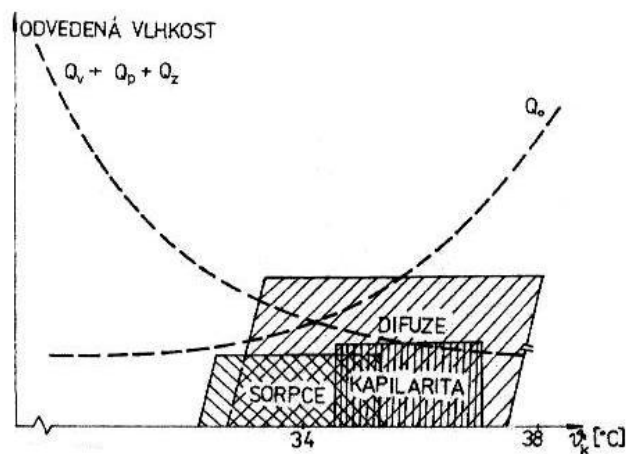
Druhou stránkou týchto odvodov je ich reverzibilita, [2] to znamená, za akých podmienok a ako rýchlo je schopná textília, ktorá je nasýtená tekutinou ju uvoľniť. Pokiaľ tento proces prebieha na tele, je základom zníženia produkcie potu, to znamená, aby klesol parciálny tlak z hodnoty P_{k1} na P_{k2} , aby Δp bol najvyšší medzi vonkajšou plochou textílie P_v a okolím P_o .



Obrázok č.4 – Vysychanie textílie

Vysychaním textilnej vrstvy sa znižuje obsah vody odvedenej všetkými spôsobmi, najpomalšie sorpčným, ktorý desorpčným spôsobom tlmi tento uvoľňovací proces a vracia obsah vlhkosti v textílii na pôvodnú hodnotu.

Tieto spôsoby odvodu vlhkosti z organizmu sú súčasťou termoregulácie. Rôzne množstvo produkovaného potu a jeho rôzna forma (para a kvapalina) je aj rôznym spôsobom odvádzaná. Sorpčný spôsob pracuje najviac v úzkej oblasti optima, kapilárny a difúzny pri vyšších produkciách potu (Obr. č.5). Po sorpčne nasýtených vláknach nastupuje difúzia a kapilárny odvod. V prípade nesorpčných vlákien sú realizované podiely kapilárneho, migračného a difúzneho odvodu.



Obrázok č.5 – Podiel jednotlivých odvodov ako funkcia teploty kože.

Úpravou, štruktúrou a zložením jednotlivých komponentov môžeme vytvoriť takú textíliu, ktorá by mala pre odvod vlhkosti tie najlepšie podmienky. Avšak ani tieto definičné obory nemajú štatistický charakter. Každý odev sa pri nosení dotýka niekedy viac a niekedy menej pokožky a odoberá tekutinu kapilárne, migračne, alebo difúzne. Jednotlivé odvody sú proporcionálne zmesové. Navyše produkcia potu nie je vo všetkých častiach povrchu tela rovnaká a je spätne ovplyvňovaná odvodom vlhkosti, čo vytvára lepšie podmienky pre nestacionárny jav. [2]

Termofyziologický komfort

Termofyziologický komfort poskytovaný odevom môžeme hodnotiť buď pomocou prístrojov, ktoré presne charakterizujú daný fyzikálny jav, ale sú bez priameho vzťahu k podmienkam ktoré platia v systéme pokožka – odev – prostredie. Na druhej strane môžeme prenos tepla a vlhkosti merať v podmienkach blízkych fyziologickému režimu ľudského tela. Tento v poslednom období prevažuje, lebo nám umožňuje hodnotiť termofyziologický komfort presnejšie ako metódy ktoré sa používali pred tým. [3]

Termofyziologický komfort odevov môžeme zjednodušene charakterizovať pomocou dvoch základných parametrov. Jedná sa o tepelný a výparný odpor. Výparný odpor má mimoriadne dôležitú úlohu pri ochladzovaní ľudského tela odparovaním potu z povrchu pokožky. Úroveň ochladzovania v základe závisí na rozdiely parciálnych tlakov vodných pár, ktoré sú na povrchu pokožky a v okolitom prostredí a tiež na priepustnosti odevnej sústavy. Parameter priepustnosť (pre vodnú paru) môžeme teda nahradiť parametrom výparný odpor. Ten pri meraní simulujúcich reálne prenosové javy pri užívaní odevu priamo charakterizuje tepelné účinky vnímané pokožkou vznikajúce v dôsledku vyparovania sa potu. V tomto prípade je nutné rozlišovať celkový výparný odpor odevu a výparný odpor medznej vrstvy. Podobne aj celkový tepelný odpor odevu je zložený z tepelného odporu samotného odevu a tepelného odporu medznej vrstvy. [3]

Klasické postupy merania priepustnosti textílií sú:

- Metóda Dreo
- Gravimetrická metóda
- Skin model
- Permetest

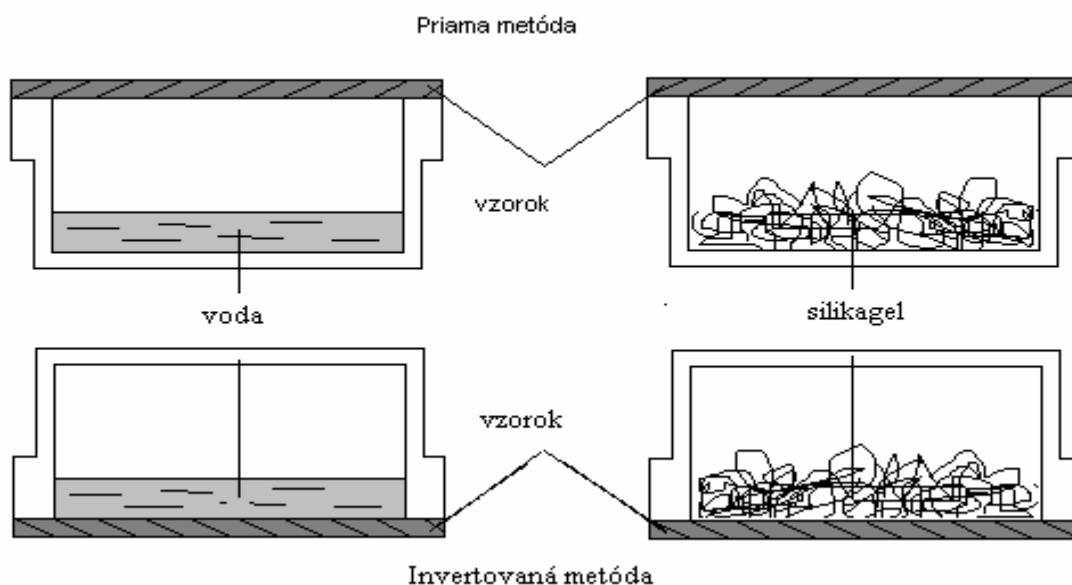
Gravimetrická metóda

Meranie spočíva v upevnení kruhového vzorku textílie na misku ktorá obsahuje silikagel, zváženie misky so vzorkom (G_0) pred uložením do klimatizačnej skrine, zváženie (G_1) po šesť hodinovej expozícii v klimatizovanom prostredí a výpočtu relatívnej priepustnosti P_{rel} zo vzťahu:

$$P_{rel} = (G_1 - G_0) / G_0 \quad [\%] \quad (3)$$

Absolutná priepustnosť P_{abs} :

$$P_{abs} = (G_1 - G_0) / S \tau \quad [\text{kg/m}^2 \text{ hod}] \quad (4)$$

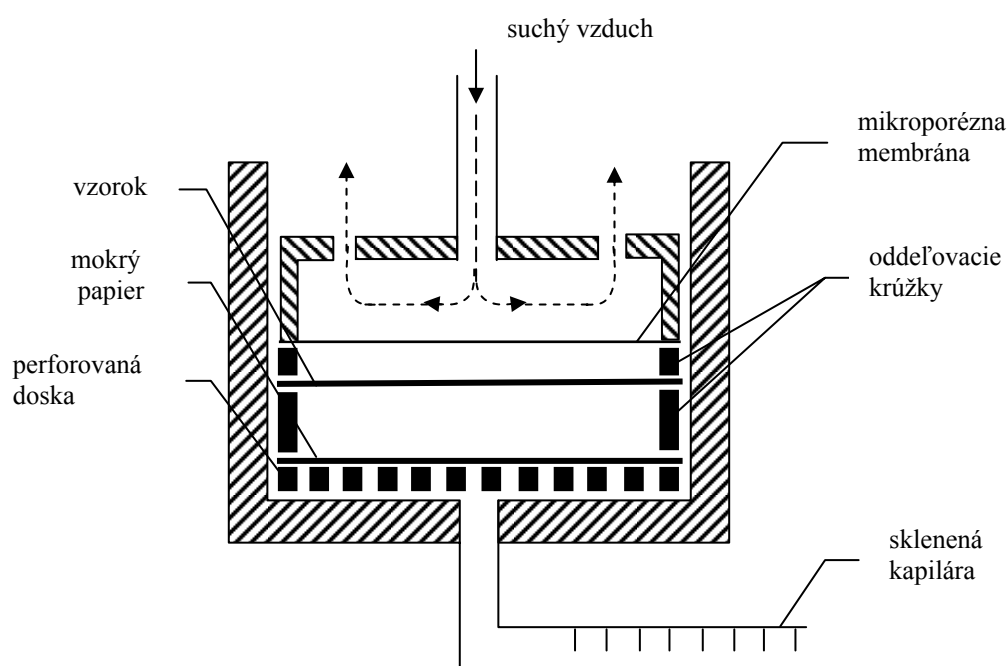


Obrázok č.6 – Gravimetrické metódy merania priepustnosti textílií pre vodné páry

Nevýhodou tejto metódy je [3] jej zdĺhavosť a nízka presnosť merania, ktorá je daná časovo nelineárnou sorpciou vysúšadla. Preto sa od tejto metódy upúšťa. Podobne sa prestáva používať aj metóda priama, kde bol vážením zisťovaný úbytok vody v miske prekrytej vzorkom a vystavenej prúdeniu vzduchu pri rýchlosti 1 m/s. [3]

Metóda Dreo

Túto metódu navrhli Farnworth, Dolhan a Van Beest. Textília je upevnená na podložku medzi dve polopriepustné vrstvy. Pod spodnou vrstvou je voda a cez vrchnú vrstvu prúdi suchý vzduch. Spodná vrstva chráni a oddeľuje vzorok od vodnej hladiny a vrchná vrstva pred prienikom vzduchu. Strata vody tu nie je určovaná vážením, ale sa odčíta na stupnici sklenenej kapiláry. Dĺžka merania je pri tomto spôsobe hodnotenia 15 minút. [3]



Obrázok č.7 - Farnworthov difúzny meter

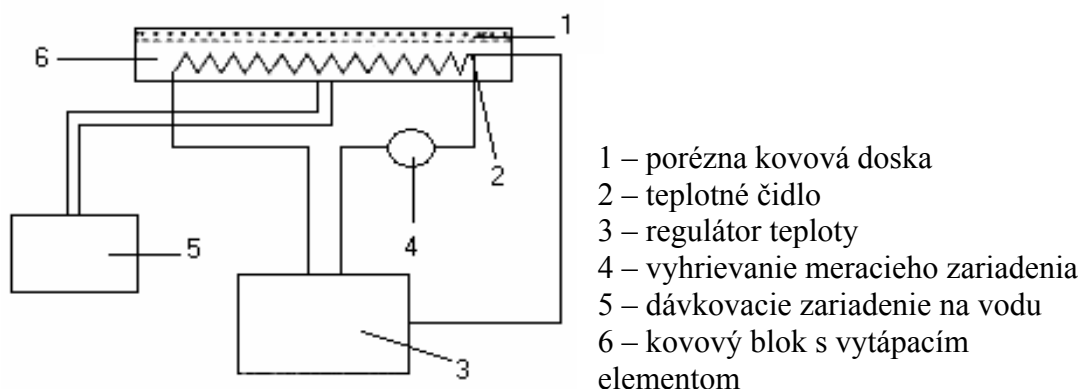
Skin Model

Základnou časťou meracieho prístroja je zavlhčená a vyhrievaná porézná doska, ktorú označujeme ako model kože. Slúži na simuláciu procesov prenosu tepla a hmoty. Tieto prenosy vznikajú medzi ľudskou pokožkou a okolím. Merania, ktoré zahŕňujú tieto prenosy sa môžu prevádzať buď separátne, alebo pri meniacich sa vonkajších podmienkach, zahrňujúcich kombináciu rôznych teplôt, relatívnu vlhkosť a rýchlosť prúdenia vzduchu. Namerané hodnoty môžu

odpovedať rozdielnym premenlivým, ale aj ustáleným okolitým podmienkam nosenia odevu.

Skúška za stacionárnych podmienok

Testovaná textília je umiestnená na elektricky vyhrievanú dosku, ktorá má teplotu 35°C. Tá je obtekaná vzduchom, ktorý prúdi paralelne s povrchom dosky pri rýchlosti 1 m.s⁻¹ a teplote 20°C (meranie tepelného odporu). Pri meraní priepustnosti pre vodnú paru je táto teplota 35°C. Pri ustálení podmienok celého systému (doba ustaľovania je v niektorých prípadoch aj niekoľko hodín) sa meria príkon vyhrievanej dosky. [3] Ako merací prístroj sa často používa elektrický wattmeter.

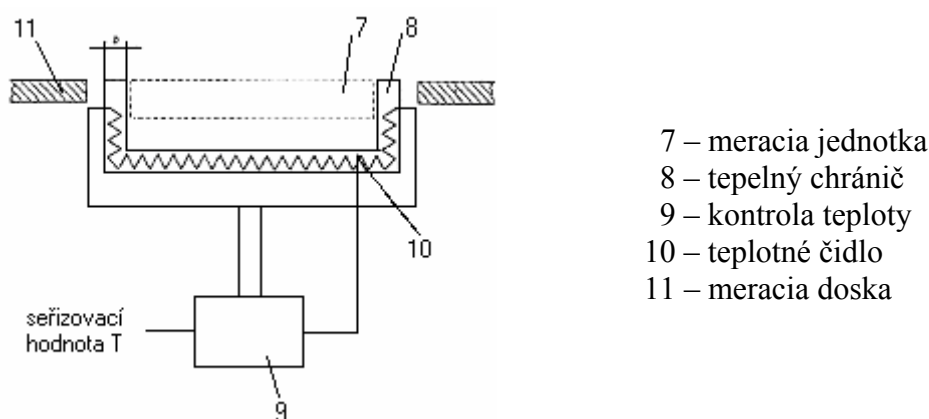


Obrázok č. 8 - Meracia jednotka s kontrolou teploty a prívodom vody

Pri skúmaní priepustnosti vodných pár textílie je vytápaná porézna doska pokrytá celofánovou membránou, ktorá prepúšťa vodnú paru, ale zabraňuje prepúšťaniu vody. [3] Voda, ktorá prichádza k vyhrievanej doske sa odparuje a prechádza membránou vo forme pary, takže testovaná textília neprichádza do kontaktu s vodou. V dôsledku odparu, ktorého intenzita je priamo úmerná priepustnosti textílie, má teplota dosky klesajúcu tendenciu. Tepelný príkon privádzaný do dosky s cieľom udržiavať pôvodnú teplotu dosky je mierou priepustnosti textílie pre paru. Aby sa pri meraniach tohto príkonu znížili tepelné

straty do okolia, je meracia doska obklopená elektronicky stabilizovanou izotermnou plochou.

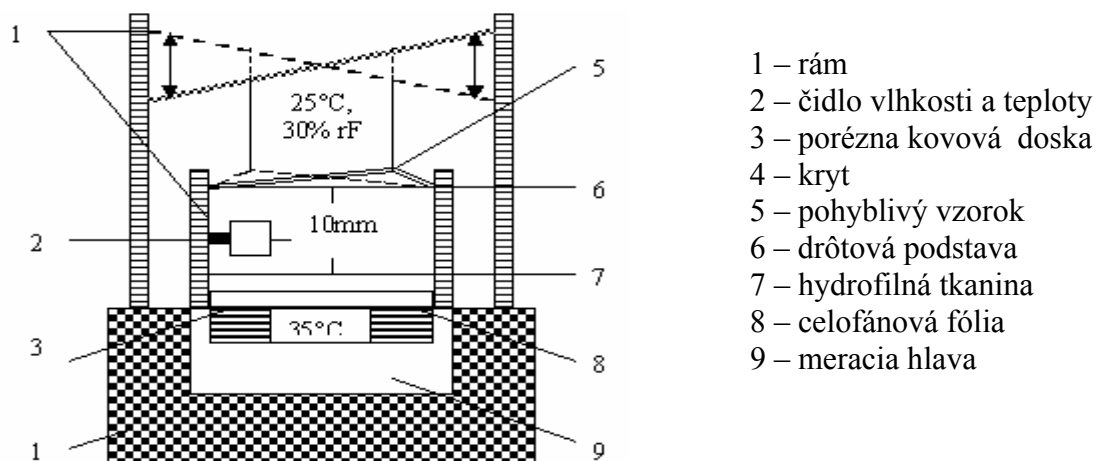
Nevýhoda merania tepelného príkonu touto metódou je vysoká tepelná zotrvačnosť celého prístroja. Jedno meranie môže trvať aj viac ako hodinu. Počas doby merania často dochádza ku kondenzácii vlhkosti v meranom vzorku. V takýchto prípadoch býva výsledok skreslený.



Obrázok č.9 - Vyhrievaný ochranný kryt pre zníženie tepelných strát poréznej meracej dosky

Skúška za nestacionárnych podmienok

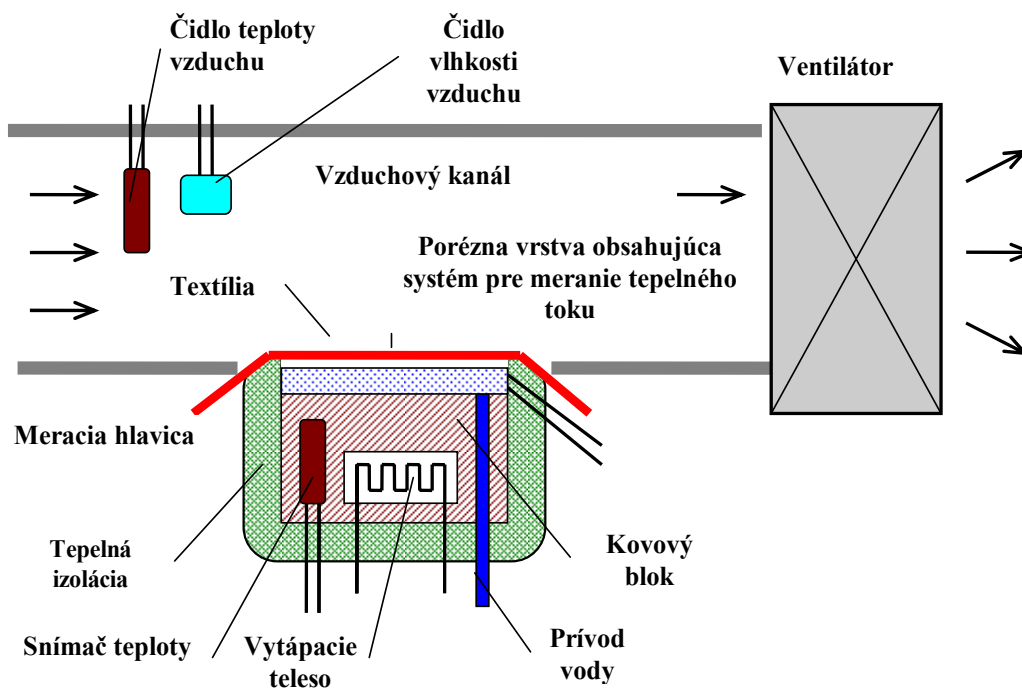
Táto skúška sa prevádza za pomoci Skin modelu. Meria sa regulačný účinok z parnej fázy, ktorý určuje komfort nosenia odevov najbližších pokožke za podmienok intenzívneho potenia, kde sa pot ešte stačí vypariť z potných kanálikov kože. Tento dej môžeme simulovať za pomoci hydrofilnej tkaniny. Tá je umiestnená na poréznej vyhrievacej doske a je zavlhčená 4 cm³ vody, ktorá sa odparuje. [3] Meracie čidlá vo vzduchovom priestore medzi poréznu dosku a textíliou merajú časový priebeh teploty a vlhkosti podľa nastaveného režimu impulzov potenia.



Obrázok č.10 – Model pokožky pre meranie regulačného účinku z parnej fázy

Meranie pomocou prístroja Permetest

Permetest je založený na priamom meraní tepelného toku q prechádzajúceho povrchom tepelného modelu ľudskej pokožky. Povrch modelu je porézny a zavlhčovaný, čím sa simuluje funkcia ochladzovania potením. Na tento povrch sa prikladá cez separačnú fóliu meraná textília. Vonkajšia strana vzorku je ofukovaná.



Obrázok č.11- Schéma prístroja Permetest

Pri meraní priepustnosti pre vodné pary a výparného odporu je meracia hlavica pomocou elektrickej výhrevnej špirály a regulátoru udržiavaná na teplote okolitého vzduchu obyčajne 20 - 23°C, ktorý je do prístroja nasávaný. [3]Týmto sú zaistené izotermické podmienky merania. Pri meraní sa vlhkosť v poréznej vrstve mení na paru, ktorá prechádza cez separačnú fóliu meranou textíliou. Príslušný výparný tepelný tok je meraný špeciálnym snímačom a jeho hodnota je priamo úmerná relatívnej priepustnosti textílie, alebo nepriamo úmerná jej výparnému odporu. V oboch prípadoch sa najskôr meria tepelný tok bez vzorku a potom znova so textíliou a prístroj registruje odpovedajúce tepelné toky q_o a q_v . Počas merania tepelného odporu textílie je suchá meracia hlavica udržiavaná na teplote o 10 - 20°C vyššej než je teplota okolitého vzduchu.

Prístroj je možné použiť na:

- Meranie tepelného odporu textílií pri stabilizovanej teplote textílie 32°C, alebo pri zvolenom rozdieli teploty hlavice a teploty v kanále v mokrom či suchom režime
- Meranie výparného odporu a relatívnej priepustnosti textílií pri izotermických podmienkach
- Meranie výparného odporu a relatívnej priepustnosti textílií pri neizotermických podmienkach

Stanovenie relatívnej priepustnosti pre vodné pary

Prístroj meria relatívnu priepustnosť textílií pre vodné pary p [%]. Tento parameter je nenormalizovaný, ale veľmi praktický. 100% priepustnosť predstavuje tepelný tok q_o odvedený odparom z voľnej hladiny pri rovnakom priemere aký má hodnotená textília. Zakrytím tejto hladiny meranou textíliou sa tepelný tok zníži na hodnotu q_v . Platí vzťah:

$$p = 100 * (q_v / q_o) [\%] \quad (5)$$

Stanovenie výparného odporu:

$$R_{et} = (P_m - P_a) (q_v^{-1} - q_o^{-1}) \quad (6)$$

Stanovenie tepelného odporu

Meranie prebieha v suchom režime (bez zavlhčenia) rovnakým spôsobom. [3] Tepelný odpor R_{ct} charakterizuje odpor proti priestupu tepla textíliou pri definovanej teplote t_m jeho jednej strany a pri prenose tepla konvekciou z jeho druhej (vonkajšej) strany do vzduchu s teplotou t_a , pričom sa tepelný odpor tejto vonkajšej medznej vrstvy odpočíta. Takto stanovená hodnota tepelného odporu je len približná, pretože odpočítaný tepelný odpor platí pre hladký povrch, ale povrch textílie je drsný a preto aj odlišný.

Pre výpočet tepelného odporu pomocou prístroja Permetest platí vzťah:

$$R_{ct} = (t_m - t_a) (q_v^{-1} - q_o^{-1}). \quad (7)$$

Priedušnosť textílií

Priepustnosť vzduchu – priedušnosť

Priedušnosť je jednou z najdôležitejších vlastností plošných textílií. U textílií určených na odievanie ovplyvňuje príjemnosť odevu na pokožke. U textílií určených na technické účely je priedušnosť žiadaná podľa účelu použitia. Jedná sa napríklad o filtračné textílie, kde je priepustnosť pre vzduch jedným z najdôležitejších faktorov.

Priedušnosť je ovplyvnená:

- Štruktúrou vlákien
- Štruktúrou nití
- Konečnou úpravou

- Vrstvením jednotlivých textílií
- Obsahom vlhkosti

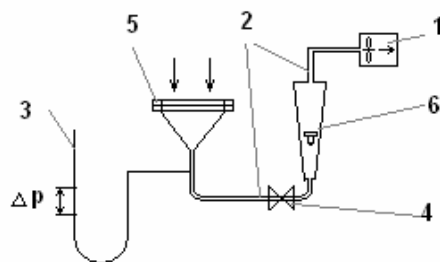
K prešupu vzduchu plošnou textíliou dochádza vtedy, ak je na oboch stranách rozdielny barometrický tlak a textília má nenulovú hodnotu pórovitosti. Pórovitosť je teda štrukturálny ekvivalent priedušnosti. Rýchlosť priestupu vzduchu odpovedá veľkosti rozdielov tlakov Δp . [3]

Definícia priedušnosti

Priedušnosť je definovaná normou ČSN EN ISO 9237 ako rýchlosť prúdenia vzduchu prechádzajúceho kolmo na testovaný vzorok pri špecifických podmienkach pre skúšobné plochy, tlakový spád a čas.

Meranie priedušnosti

Meranie priedušnosti je založené na určení rýchlosti prúdu vzduchu prechádzajúceho kolmo určitou plochou plošnej textílie pri stanovení tlakového spádu. Meranie sa teda realizuje na prístroji, ktorý zaistí rozdiel - tlakový spád (obrázok č. 12). Jeho základom je vzduchové čerpadlo (1), ktoré potrubím (2) nasáva vzduch. Tím sa vytvorí tlakový rozdiel Δp merateľný manometrom (3), ktorým nasávaný vzduch prechádza. Meraná hodnota je v určitých medziach a jej presné nastavenie je regulované regulačným ventilom (4). Na konci potrubia sa upína skúšobný vzorok do vymeniteľných kruhových čeľustí (5) definovanej plochy. V tomto mieste je vystavený kolmo prechádzajúcemu vzduchu. Množstvo takto prejdeného vzduchu je merané rotametrom (6). [3]



Obrázok č.12– Schéma prístroja na meranie priedušnosti

Prístroj FX 3300 pre meranie priedušnosti textílií

Prístroj FX 3300 slúži k presnému, rýchlemu a jednoduchému určeniu priedušnosti plošných textílií. Na obrázku č. 13 je zobrazený elektronický prístroj FX 3300 pre meranie priepustnosti textílií pre vzduch švajčiarskej firmy TEXTTEST AG. [3] Jeho princíp spočíva vo vytvorení tlakového rozdielu medzi oboma povrchmi testovanej textílie a meranie takto vyvolaného prietoku vzduchu. Testovaná plocha činí 20 cm^2 . Priepustnosť je vyjadrovaná v $\text{m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{s}$, po skrátení v $\text{l/m}^2/\text{s}$. Ako je vidieť z obrázku, meraná textília, alebo odev sa vkladajú do prístroja vcelku, nie je teda potrebné oddeľovať vzorok so špeciálnymi rozmermi. Jedná sa o nedeštruktívnu skúšku.



Obrázok č.13 – Prístroj FX 3300 na meranie priedušnosti textílií.

Priedušnosť a priepustnosť za vlhka

Pri hodnotení priedušnosti a priepustnosti vlhkosti u textílií je nutné brať ohľad na to, za akých podmienok tieto vlastnosti hodnotíme. Pokiaľ prevádzame meranie pre suché textílie, potom samotné meranie nič neovplyvňuje. Pokiaľ však hodnotíme priedušnosť a priepustnosť mokrých textílií, potom musíme zohľadniť vlastnosti materiálu a štruktúru hodnotenej textílie.

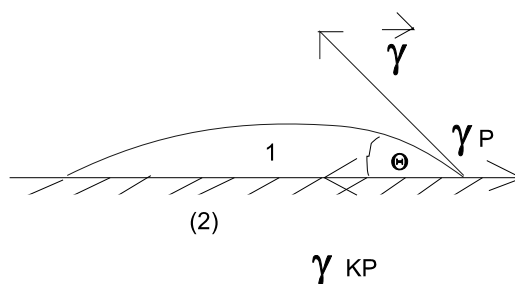
Pri kontakte textílie s vodou môže dôjsť k zmene štruktúrnych parametrov v závislosti na type vlákenného materiálu. Je známe že bavlnené vlákno pri kontakte s vodou botná, čím môže dôjsť k zmenšeniu pórov v textílii a následne k zníženiu priedušnosti a priepustnosti. Toto však nenastane u vlákien nenavlhavých, napríklad polyesteru.

Je známe, že suché a mokré textílie vedú teplo rôzne rýchlo. To znamená, že k rýchlejšiemu prestupu tepla skrz textíliu dôjde u mokrých textílií. Čím rýchlejšie sa teplo odvedie, tým rýchlejšie dôjde k ochladeniu pokožky (tento jav má negatívny účinok pri chladnom počasi, kedy sa človek zapotí a dôsledkom je rýchle ochladenie až pocit chladu).

Pri hodnotení prestupu vlhkosti cez textíliu sa výrazne prejaví vplyv materiálu. U vlákien navlhavých dochádza pri kontakte s vodou k jej absorbovaniu „do“ vlákna a pôsobením kapilárnych síl aj k jej viazaniu na povrch vlákien. Množstvo vody kapilárne viazanej na povrch je väčšinou väčšie než množstvo vody absorbovanej vo vlákne. [4]

U textílií sa stretávame s fenoménom zmáčania. Zmáčanie môže byť definované ako vzájomné pôsobenie kvapaliny, pevného povrchu a vzduchu, ktoré vzniká na základe pôsobenia adhézných (súbor povrchových síl, ktorými sa navzájom pútajú častice rôznych látok) a kohéznych (súbor síl, ktorými sa navzájom pútajú častice tej istej látky) síl medzi kvapalinou, vláknom a vzduchom. Na type textílie potom závisí jej schopnosť transportovať či zadržiavať kvapalinu na povrchu a medzi vláknami, čo sa dá ovplyvniť výberom vhodných vlákien, spôsobom ich spevnenia, ale aj vhodnou povrchovou úpravou.

Princíp zmáčania popisuje Youngová rovnica. Ide o rovnováhu kvapky kvapaliny na pevnej podložke. Predpokladá sa, že povrch pevnej látky je rovný, v priebehu zmáčania sa nemení a kvapalina do pevnej látky nepreniká. Dôležitú úlohu pri zmáčaní má povrchové napätie kvapaliny, ktorého ukazovateľom je hodnota uhlu zmáčania Θ . Čím je uhol Θ menší, tým nižšie je povrchové napätie a vyššia zmáčavosť kvapaliny. [5]



1- kvapalina

2- pevná látka

γ_P -povrchové napätie na rozhraní pevnej látky a vzduchu

γ_{KP} - povrchové napätie na rozhraní pevná látka – kvapalina

γ - povrchové napätie na rozhraní kvapalina vzduch

Obrázok č.14 - Znázornenie smeru pôsobenia povrchových napätí na kvapke

Youngová rovnica

$$\gamma_P = \gamma_{KP} + \gamma \cdot \cos \theta \quad (6)$$

Úprava Youngovej rovnice pre anizotropné povrchy.

Definujeme drsnosť textílie ako pomer medzi mikroskopickým a makroskopickým povrchom. [6] Potom je kontaktný uhol funkciou drsnosti povrchu. Označme S_1 makroskopický povrch a S_2 skutočný povrch textílie, ktorý je v prípade členitej textílie väčší, potom vzťah medzi povrchovou energiou γ_{KP} a makroskopickou povrchovou energiou γ_{MKP} môžeme zapísať ako:

$$\gamma_{KP} = \gamma_{MKP} \cdot \frac{S_2}{S_1} \quad (7)$$

Povrchové napätie popisuje adhéznú väzbu medzi kvapalinou a pevnou látkou. Môže byť taktiež chápané ako sila F pôsobiaca na jednotkovú dĺžku L :

$$\gamma = \frac{F}{l} \quad (8)$$

Potom jednotkou povrchového napätia je N/m .

Empiricky bola zistená rada kvality adhézneho spoja základných typov textilných vlákien k rôznym druhom pojív:

1. viskóza
2. polyamid
3. bavlna
4. polyester
5. vlna
6. polypropylén

Z tohto zistenia plynie, že najpevnejší adhézny spoj spravidla vytvára viskóza, naopak najslabší polypropylén. [5]

Môžeme teda predpokladať, že bavlna vytvára pevnejší adhézny spoj, ktorý má väčšie povrchové napätie, než polyester. Pri kontakte kvapaliny (vody) s vláknom dochádza k vytvoreniu kontaktného uhlu. U polyesteru, ktorý má nižšiu absorpciu bude tento kontaktný uhol väčší než u bavlny. Tento fakt potom vysvetľuje väčší priestup vlhkosti skrz polyesterovú tkaninu než bavlnenú, ktorá na seba viaže väčšie množstvo kvapaliny (vody).

Experimentálna časť

Do tejto práce boli použité odevné materiály, ktoré sa najviac využívajú pri výrobe pracovných odevov. Sú to predovšetkým materiály tkané v keprovej väzbe. Ich materiálové zloženie je podmienené dostupnosťou a jedná sa hlavne o 100% bavlnu a zmes bavlny a polyesteru v rôznych pomeroch. Použité vzorky majú aj rôznu plošnú hmotnosť, ktorá sa pohybuje v rozmedzí od 205 do 370 g/m². Všetky použité textílie boli pri výrobe upravené hydrofóbnou (vodoodpudivou) a nekrčivou úpravou. Keďže by hydrofóbná úprava skresľovala meranie, museli byť materiály vyprané. Pranie prebiehalo v šiestich prácich cykloch pri teplote 40°C. Výrobcovia garantovali odstránenie hydrofóbnej úpravy po 4 až 5 prácich cykloch.

Použité materiály

Textílie boli rozdelené do skupín podľa materiálového zloženia a plošnej hmotnosti. Ako prvé textílie boli vzorky zo 100% bavlny pri rôznej plošnej hmotnosti, ktorá sa pohybovala od 230 do 370 g/m², po nich nasledovali materiály so štruktúrnym zastúpením polyesteru a bavlny. Kvôli prehľadnosti sú tieto tkaniny zoradené v tabuľke č. 1. a testované vzorky sa nachádzajú v prílohe č. 1.

Názov textílie	Materiálové zloženie	Plošná hmotnosť g/m ²	Väzba	T osnovy	T útku	Dostava
Mofos	100% bavlna	370	kepr 2/3	50 tex	50 tex	188x150
Proban	100% bavlna	300	kepr 3/1	50 tex	60 tex	300x170
Kadem	100% bavlna	250	kepr 2/2	50 tex	50 tex	192x175
Solan	100% bavlna	230	kepr 2/2	33 tex	50 tex	185x160
Meteor	65%PES/ 35%Ba	265	kepr 2/1	50 tex	50 tex	320x190
Jaspis	65%PES/ 35%Ba	225	kepr 2/1	40 tex	40 tex	320x200
Mramor	65%PES/ 35%Ba	245	kepr 2/1	40 tex	50 tex	340x190
Koral	65%PES/ 35%Ba	275	kepr 2/1	50 tex	50 tex	341x190
Lina	65%PES/ 35%Ba	205	kepr 2/1	30 tex	30 tex	420x240
Anton	65%PES/ 35%Ba	225	kepr 2/1	30 tex	36 tex	415x240
Boko - Tower	40%PES / 60%Ba	329	kepr 2/2	60 tex	50 tex	300x190
Mramor 20	20%PES/ 80%Ba	245	kepr 2/1	40 tex	50 tex	340x190

Tabuľka č. 1 – Použité materiály na hodnotenie relatívnej priepustnosti vodnej pary a priedušnosti

Popis experimentu

Textilné vzorky boli klimatizované v prostredí laboratória po dobu 24 hodín. Následne sa zvažili a zmerali na zariadeniach Permetest (relatívna priepustnosť) a FX 3300 (priedušnosť). Celý experiment prebiehal v laboratóriu bez klimatizácie, takže nebolo možné zaistiť stále rovnaké klimatické podmienky pre každé meranie. Namerané hodnoty tkanín pri laboratórnej vlhkosti sú zachytené v prílohe č. 1 Po zvážení a meraní za normálnych laboratórnych podmienok boli vzorky vložené do sušiarne, kde sa sušili po dobu 3 hodín pri teplote 105°C. Po tejto tepelnej expozícii boli opäť zvážené a zmerané na už zmieňovaných prístrojoch. Táto fáza merania pomohla nielen k zisteniu relatívnej priepustnosti a priedušnosti, ale aj k zisteniu čistej hmotnosti vzorku bez vplyvu vlhkosti. Na základe tohto zistenia bolo možné vypočítať hmotnostný prívažok pre rôzne stupne zavlhčenia podľa vzorca:

$$u = \frac{(m_v - m_s)}{m_s} * 100 [\%] \quad (9)$$

u – hmotnostný prívažok [%]

m_v – hmotnosť vlhkého vzorku [kg]

m_s – hmotnosť suchého vzorku [kg]

Proces merania za normálnych laboratórnych podmienok a vysušených tkanín bol opakovaný 3-krát, aby sa vylúčili chybné merania. Každý výsledok sa štatisticky vyhodnotil. Tieto hodnoty sú zaznamenané v prílohe č. 2.

Tretou fázou experimentu bolo zisťovanie relatívnej priepustnosti a priedušnosti pre vlhké vzorky. Textílie boli zmáčané vo vodnom roztoku, ktorý bol vytvorený z podielu H₂O a látky znižujúcej povrchové napätie textílií (ALTARAN S 8) v pomere 1000/1[ml] H₂O a Altaran S 8 (Natrium – dioktylsulfosukcinat). Po vytvorení sa tento roztok nechal odstáť v laboratóriu aby sa vyrovnala jeho teplota s teplotou okolia. Po vyrovnaní teplôt boli do tejto substancie vkladané vzorky, na ktoré pôsobil roztok po dobu 20tich minút aby

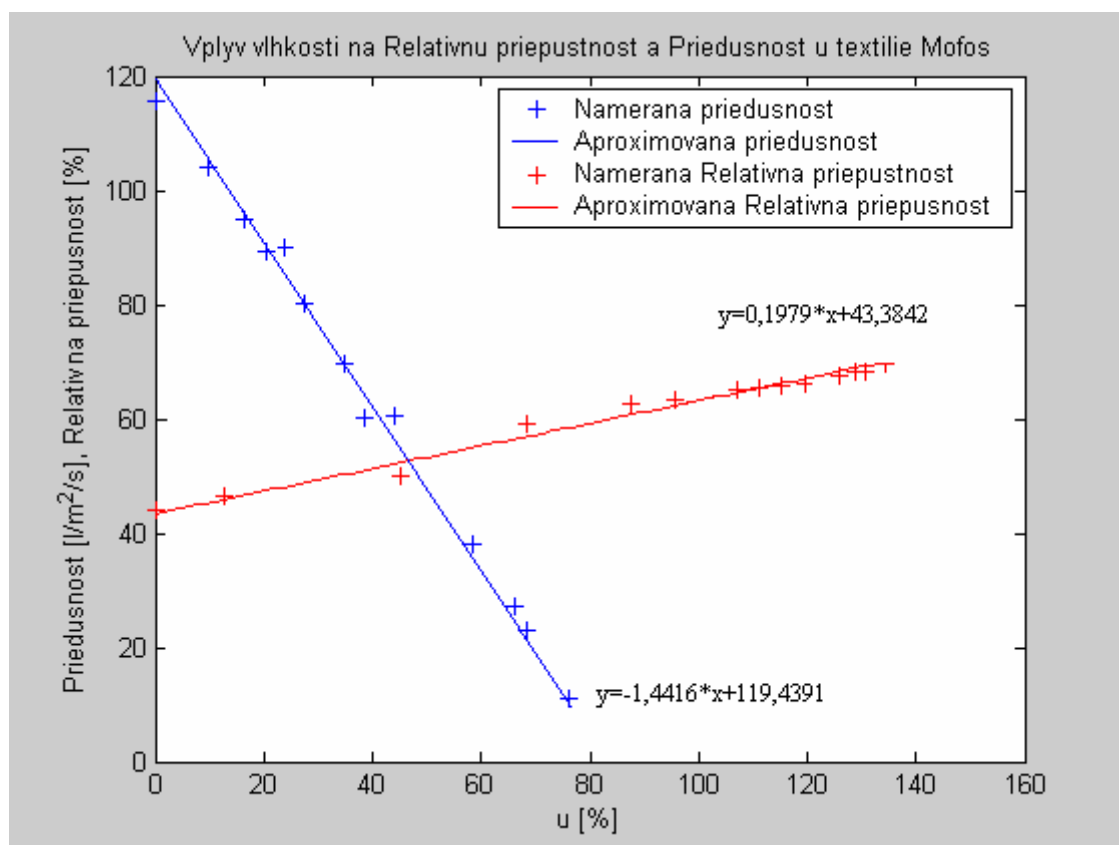
mohla vlhkosť preniknúť rovnomerne do celej ich štruktúry. Následne po uplynutí tejto doby boli vzorky z roztoku vybrané a nechali sa odkvapkať od prebytočnej vlhkosti, aby sa neuvoľňovala na meraciu hlavicu prístroja. Ako už bolo zmienené, pred samotným meraním bol každý zo vzorkov vážený a odčítaný jeho hmotnostný prívazok pri rôznom stupni zavlhčenia. Pomocou prístroja Permetest bol meraný tepelný tok q , ktorý prechádza povrchom tepelného modelu ľudskej pokožky – skin model. Povrch tohto materiálu je porézny a zavlhčovaný, čím sa simuluje funkcia ochladzovania potením. Ako už bolo zmienené v teoretickej časti, na tento povrch je priložený cez separačnú fóliu meraný vzorok. Vonkajšia strana textílie je ofukovaná prúdom vzduchu. Pri tomto experimente bola konštantná rýchlosť prúdenia v trubici prístroja Permetest $1,5 \text{ m/s}$. Zisťovaná priedušnosť textílií bola hodnotená na prístroji FX 3300 pri tlakovom spáde 200 Pa.

Merania prevádzané vo vlhkom stave nebolo možné opakovať, lebo stupeň zavlhčenia sa stále menil. V prílohe č. 2 sú zaznamenané všetky namerané hodnoty. Výsledky boli spracované pomocou programov Matlab a Excel.

Hodnotenie textílií

Bavlnené tkaniny

Tieto textílie boli tkané v keprovej väzbe. Používané priadze pri ich výrobe boli vyrobené zo 100% bavlny. Plošná hmotnosť týchto tkanín sa pohybovala v rozmedzí od 230 do 370 g/m².



Graf č. 1 – Vplyv vlhkosti na meranú relatívnu priepustnosť a priedusnosť

Pri navlhavosti hydrofilného materiálu dochádza k botnaniu priadzí a tým aj k zmenšeniu priestoru (zvyšuje sa objemové zaplnenie) znižuje sa pórovitosť. Tento jav by mal viesť k zníženiu relatívnej priepustnosti. Na grafe č.1 je však možné pozorovať opačný efekt. Vysvetlenie tohto javu môže byť nasledujúce: Pri zavlhčení materiálu dochádza k absorpcii tekutiny textíliou. Z povrchu zavlhčenej textílie sa následne odparuje médium (voda). Pri meraní sa zaznamenáva odpar vodných pár. Pokiaľ je meraná zavlhčená textília výsledný odpar sa skladá z dvoch častí:

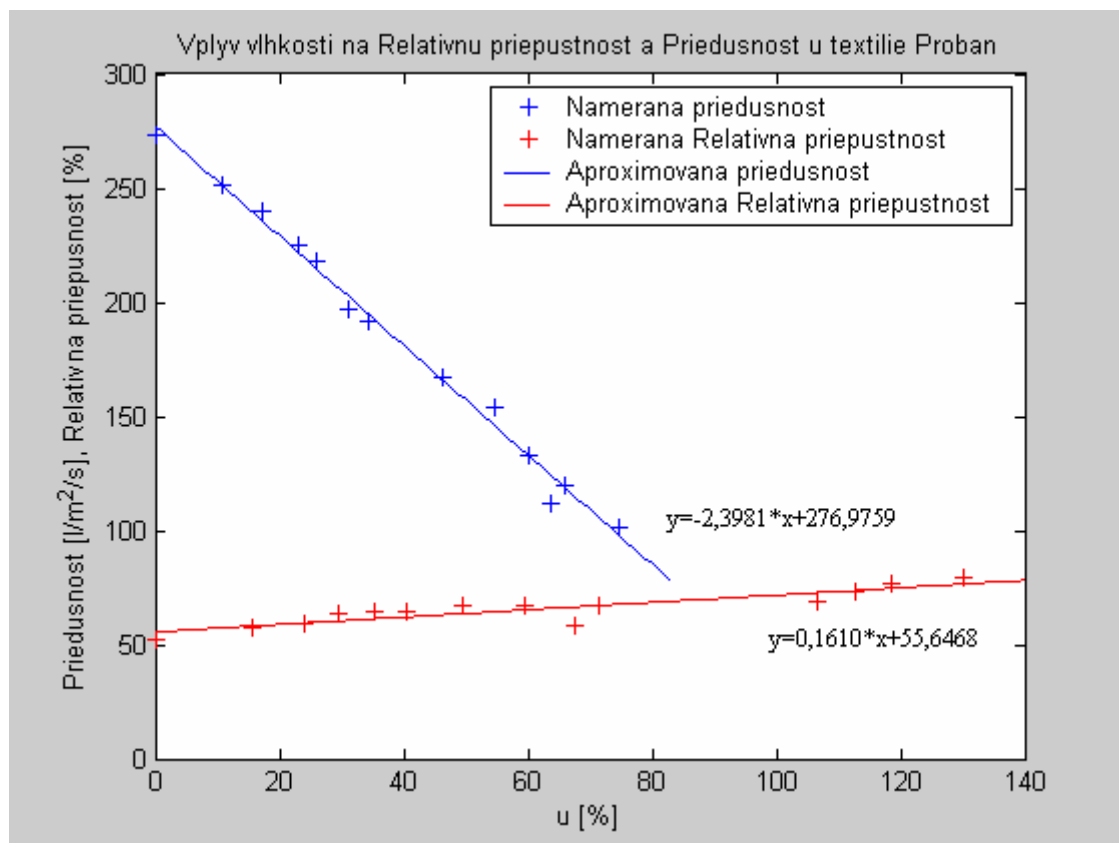
- odpar z meracej hlavice prístroja

- odpar zo zavlhčeného povrchu textílie

Pokiaľ meriame suchý vzorok, dochádza k odparovaniu tekutiny z hlavice prístroja. Vodná para následne prechádza meraným textilným vzorkom a je sledovaný pomer prechádzajúcich vodných pár bez vzorku a so vzorkom.

Relatívna priepustnosť vodných pár pre vysušený vzorok bola nameraná na hodnote 44% ako je vidieť z grafu č.1 Relatívna priepustnosť je lineárne závislá na hmotnostnom prívažku.

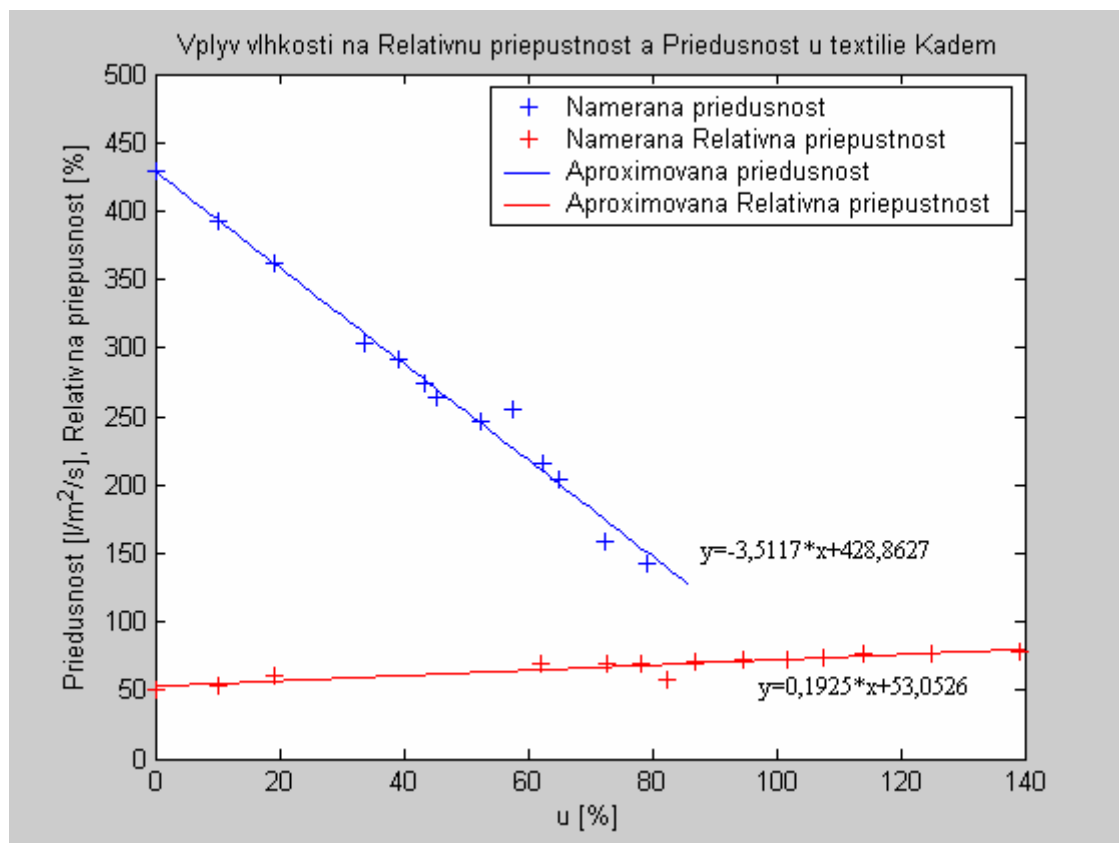
Priedušnosť prudko klesá so stúpajúcou vlhkosťou a od hodnoty 115 l/m²/s za sucha až na hodnotu 10,9 l/m²/s 76,5% vlhkosti. Pri hmotnostnom prívažku nad 80% je priedušnosť nemerateľná. Ak bola do textílie nasiaknutá tekutina v objeme prevyšujúcom viac ako 80% jej hmotnosti, nebolo možné merať priedušnosť na prístroji FX 3300. Hodnota priedušnosti bola tak nízka, že sa nachádzala mimo meracieho rozsahu prístroja.



Graf č. 2 - Vplyv vlhkosti na meranú relatívnu priepustnosť a priedušnosť

V grafe č. 2 je vykreslený priebeh priepustnosti, respektíve priedušnosti pre materiál s obchodným názvom Proban. Tento vzorok sa narázdil od predošlého odlišuje v plošnej hmotnosti. Plošná hmotnosť materiálu Proban je $300\text{g}/\text{m}^2$. Relatívna priepustnosť vodných pár pre suchý vzorok bola nameraná 52,4%. Oproti predchádzajúcemu vzorku je hodnota nameraná za suchého stavu vyššia (o približne 8,5%) Pri porovnaní regresných priamok priepustností pre oba vzorky bolo zistené, že obe regresné priamky majú rovnaký sklon. Posun oboch priamok je spôsobený rozdielnou plošnou hmotnosťou materiálov.

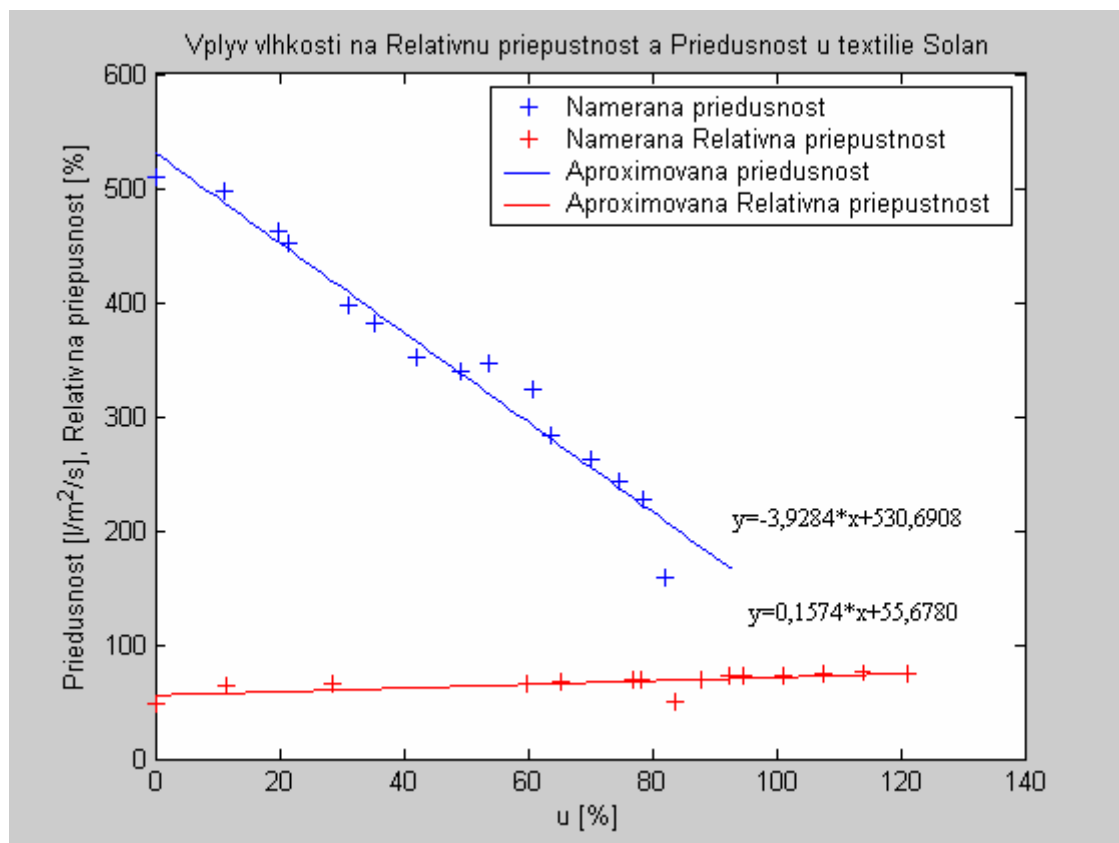
Rovnako ako u priepustnosti je tu viditeľný vplyv plošnej hmotnosti materiálu. So stúpajúcou plošnou hmotnosťou klesá priedušnosť a relatívna priepustnosť. Hodnota priedušnosti suchého vzorku bola $273\text{ l}/\text{m}^2/\text{s}$. Priedušnosť materiálu prudko klesá v závislosti na hmotnostnom prívažku. Rovnako ako v predchádzajúcom prípade nebolo možné merať priedušnosť, pokiaľ bol hmotnostný prívažok väčší než 80%. Opäť je tu konfrontácia s problematikou meraných nízkych hodnôt priedušnosti, čo štandardné prístroje neumožňujú.



Graf č.3 - Vplyv vlhkosti na meranú relatívnu priepustnosť a priedušnosť

Ďalší hodnotený materiál mal obdobné zloženie ako predchádzajúci. Jednalo sa o 100% bavlnený materiál s plošnou hmotnosťou 250 g/m^2 . Relatívna priepustnosť suchého materiálu bola 51%. Regresná priamka získaná preložením nameraných bodov pre relatívnu priepustnosť pri rôznom hmotnostnom prívažku má obdobný sklon ako pri predchádzajúcich materiáloch rovnakého materiálového zloženia. Potvrdzuje sa tým hypotéza závislosti relatívnej priepustnosti na objeme zvlhčenia textílie. Regresné priamky jednotlivých materiálov sú vzájomne posunuté, čo je spôsobené rozdielnou plošnou hmotnosťou. Sklon priamok je približne rovnaký.

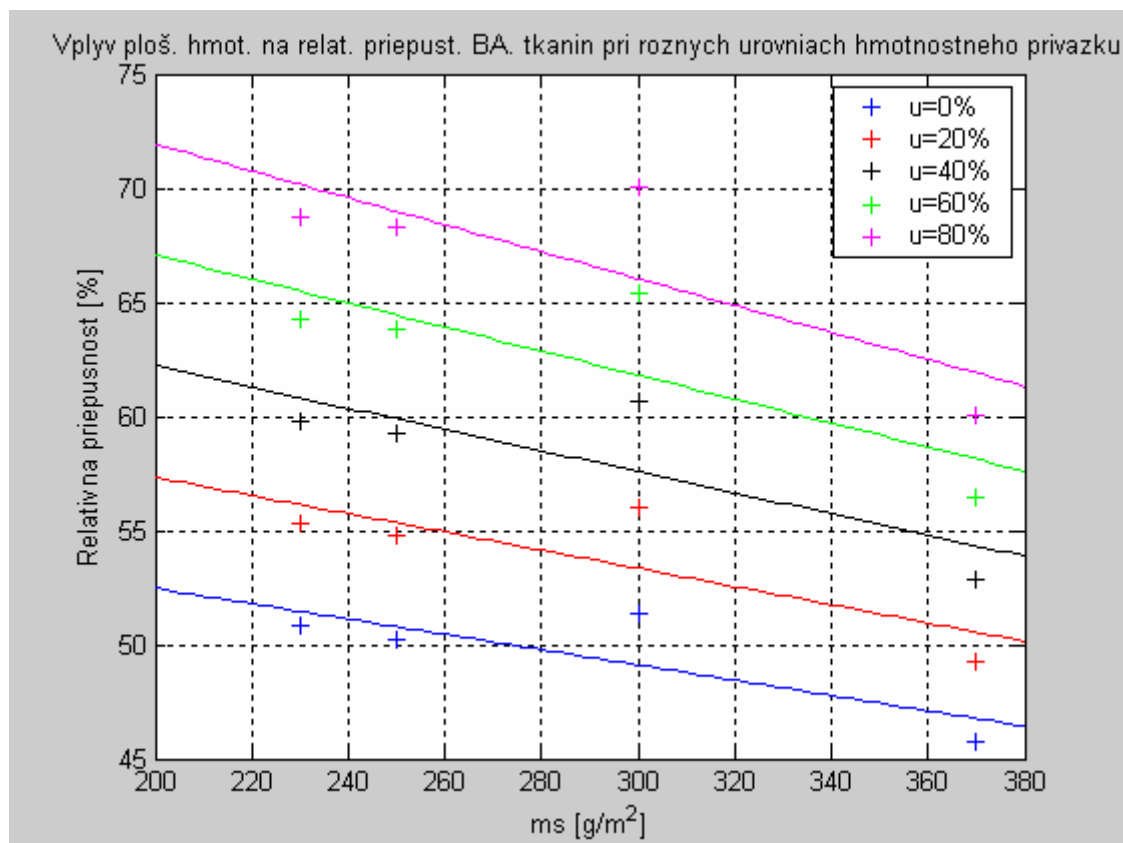
Priedušnosť suchého materiálu bola vyššia než u predchádzajúcich vzorkov. Hodnota priedušnosti stúpa s klesajúcou plošnou hmotnosťou. Pri zvlhčení vzorku dôjde k navlhnutiu a následnému botnaniu bavlny, čím klesá pórovitosť. V závislosti na klesajúcej pórovitosti klesá aj priedušnosť. Limitná merateľná hodnota priedušnosti bola rovnako ako v predchádzajúcich prípadoch na hranici 80% hmotnostného prívažku.



Graf č. 4 - Vplyv vlhkosti na meranú relatívnu priepustnosť a priedušnosť

Bavlnené materiály boli zoradené podľa klesajúcej plošnej hmotnosti. Posledným skúmaným bavlneným vzorkom s najnižšou plošnou hmotnosťou 230 g/m^2 bol materiál s obchodným názvom Solan. Priedušnosť materiálu bola výrazne vyššia než pri materiáloch s vyššou plošnou hmotnosťou čo bolo spôsobené nižšou stavbou priadzi v osnove a útku tak ako u predchádzajúcej tkaniny. Aj tu bol viditeľný pokles priedušnosti v závislosti na hmotnostnom prívažku.

Relatívna priepustnosť suchého vzorku bola nameraná 47%. Hodnota stúpala lineárne v závislosti na stúpajúcom hmotnostnom prívažku. Sklon vloženéj regresnej priamky sa výrazne nelíši od regresných priamok u predchádzajúcich materiálov. Sklon týchto regresných priamok nie je závislý na plošnej hmotnosti materiálov, ale vykazuje viditeľnú závislosť na hmotnostnom prívažku.



$$y = -0.0335x + 59.1646 \quad y = -0.0399x + 65.3041 \quad y = -0.0462x + 71.4435$$

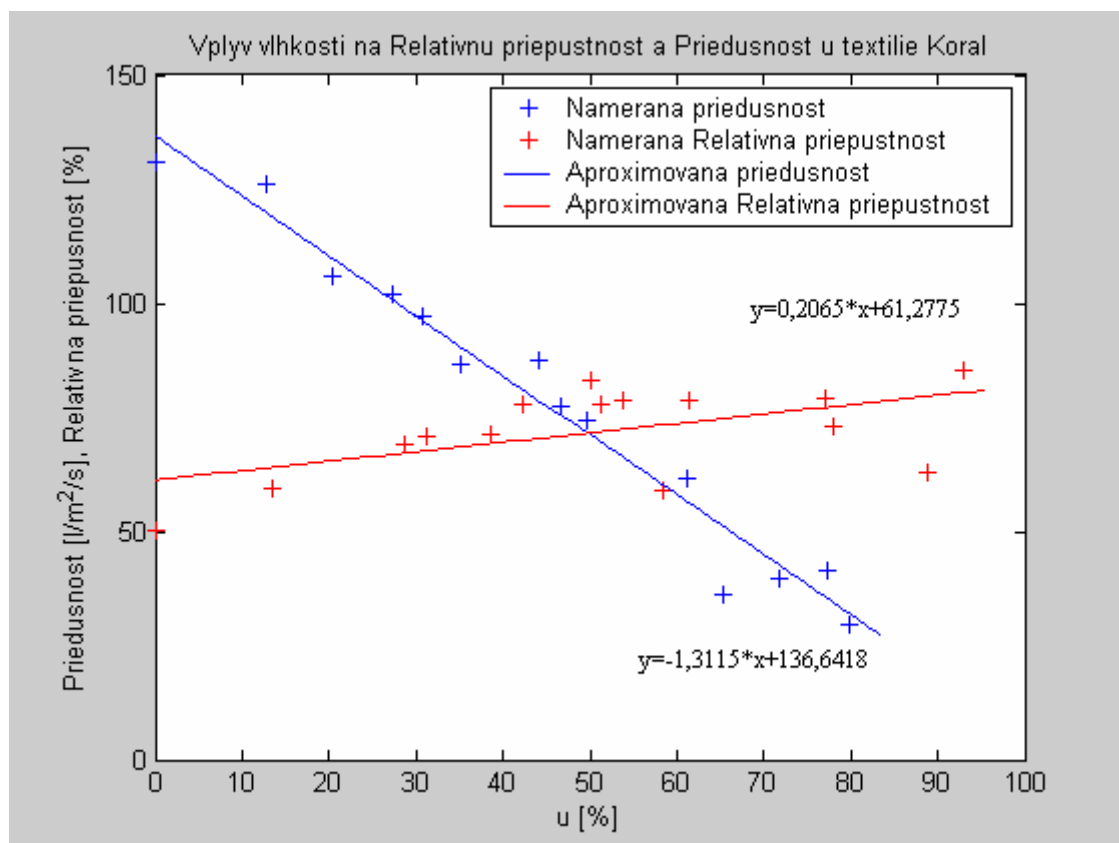
$$y = -0.0526x + 77.5830 \quad y = -0.0590x + 83.7225$$

Graf č.5 – Závislosť relatívnej priepustnosti na plošnej hmotnosti materiálov zo 100% bavlny.

Na grafe č. 5 je znázornená závislosť relatívnej priepustnosti na plošnej hmotnosti bavlneného materiálu. Tento graf bol vytvorený z dát nameraných pre jednotlivé materiály popísané vyššie. Aj cez mierne odlišnú štruktúru tkanín bola braná ako parameter porovnávania plošná hmotnosť tkanín. Z grafu je viditeľná lineárna závislosť relatívnej priepustnosti na plošnej hmotnosti. Z výsledkov môže byť vyvodzované, že v testovanom prípade nebol výrazný vplyv štruktúry tkanín. Naopak plošná hmotnosť tkanín výrazne ovplyvnila relatívnu priepustnosť. V grafe je možné sledovať 5 hladín hmotnostného prívažku (0, 20, 40, 60, 80%). Čím suchšia bola hodnotená textília, tým menšia bola nameraná hodnota relatívnej priepustnosti. Vysvetlenie tohto javu je popísané vyššie. Pri meraní zvlhčeného materiálu dochádza k odparovaniu nielen z meracej hlavice prístroja, ale aj z vlhkej textílie. Výsledný odpar je potom zložený z odparu z meracej hlavice a odparu z vlhkej textílie.

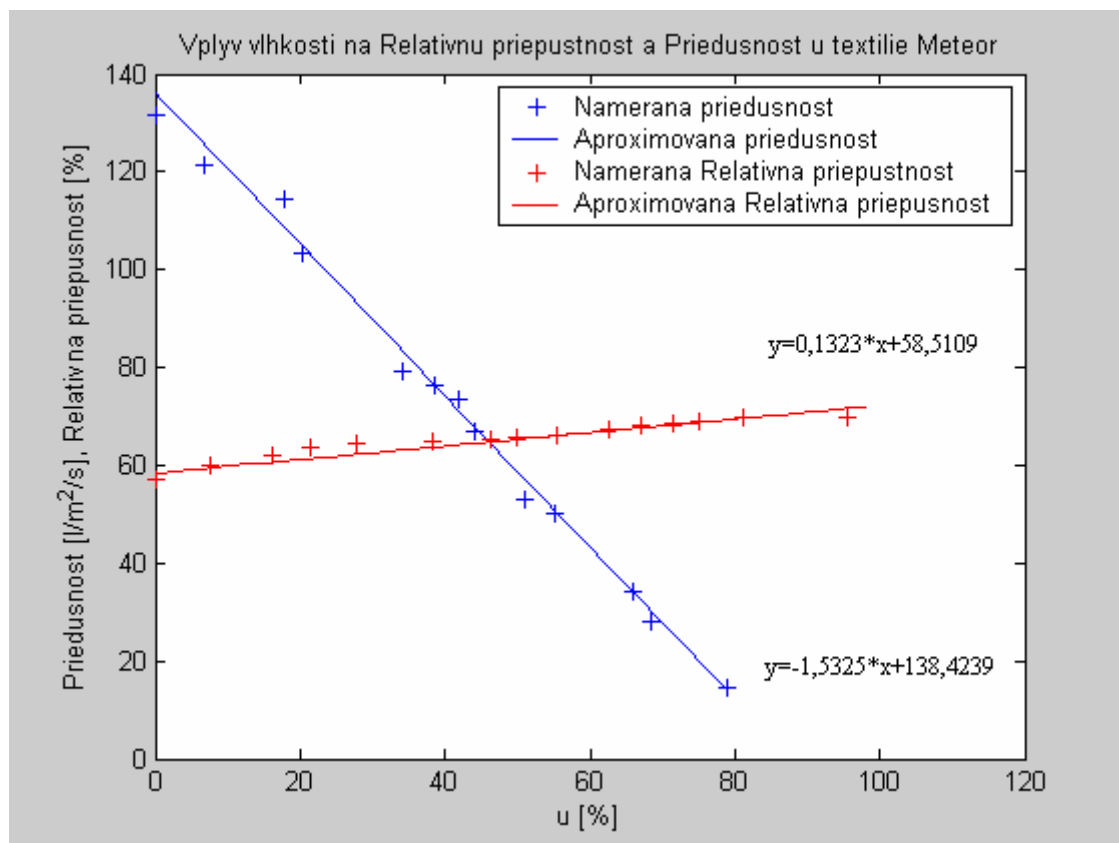
Materiály so štruktúrnym podielom polyesteru a bavlny

Nasleduje skupina šiestich vzorkov, ktoré majú rovnaké materiálové zloženie 65%PES/35%Ba, ale odlišnú plošnú hmotnosť. Obdobne ako pri predchádzajúcej skupiny je možné pozorovať vplyv plošnej hmotnosti na sledované charakteristiky tkanín. Materiály sú zoradené od najväčšej plošnej hmotnosti po najnižšiu.



Graf č.6 - Vplyv vlhkosti na meranú relatívnu priepustnosť a priedušnosť

Materiál s obchodným názvom Korál má plošnú hmotnosť 275 g/m². Priedušnosť suchého materiálu bola 131 l/m²/s. Pri zavlhčovaní dochádzalo k poklesu priedušnosti. Hodnota priedušnosti vlhkého materiálu klesala lineárne v závislosti na stúpajúcom hmotnostnom prívážku. Aj v tomto prípade nebolo možné merať priedušnosť materiálu s hmotnostným prívážkom nad 80% z dôvodu nízkych hodnôt priedušnosti nemerateľných na prístroji FX 3300.

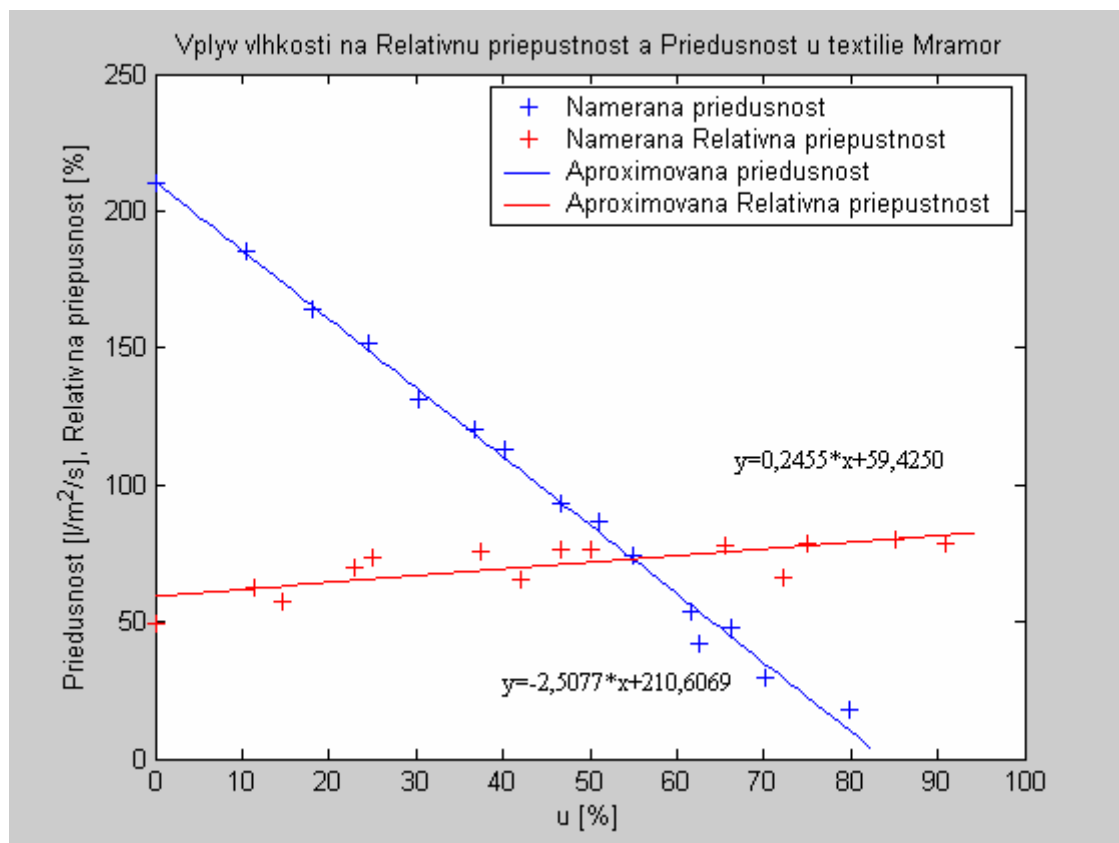


Graf č. 7 - Vplyv vlhkosti na meranú relatívnu priepustnosť a priedušnosť

Plošná hmotnosť materiálu Meteor je 265 g/m^2 . Priedušnosť vysušeného vzorku bola $134 \text{ l/m}^2/\text{s}$ a so stúpajúcim vlhkosným prívažkom hodnota priedušnosti klesala. Najnižšou merateľnou hodnotou priedušnosti pre tento vzorok bola hodnota $17,3 \text{ l/m}^2/\text{s}$ pri vlhkosnom prívažku 79%. Pri vyššom hmotnostnom prívažku nebolo možné hodnotu priedušnosti zaznamenať.

Na rozdiel od bavlnených materiálov je tu nižšia závislosť relatívnej priepustnosti na hmotnostnom prívažku. Za suchého stavu bola relatívna priepustnosť 58%, pri maximálnom možnom meranom zavlhčení 95,5% bola priepustnosť 70%, čo je vzrast odparu o 12% oproti suchej textílii. Dôvody tohto javu môžu byť nasledujúce:

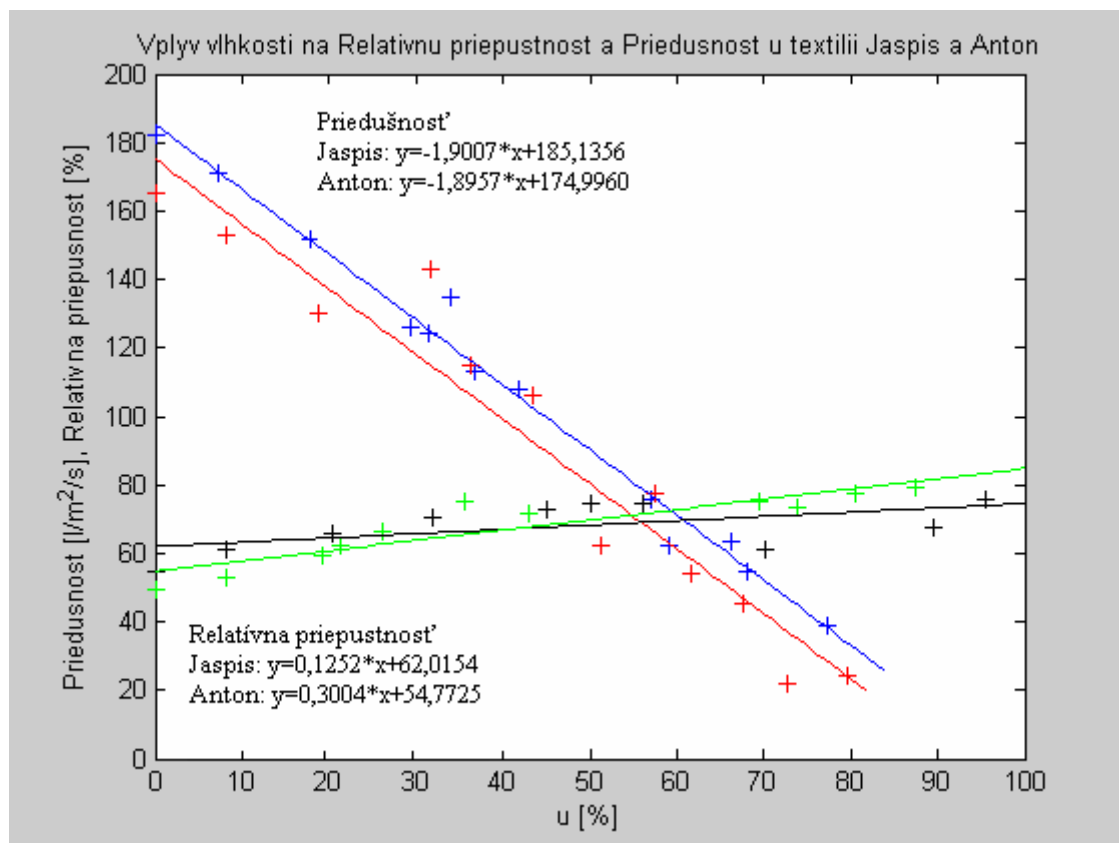
- vlhkosť sa koncentruje viac v bavlnených vláknach, v polyestery je na povrchu zadržiavaná adhéznymi silami
- pravdepodobne nedochádza k takému zmenšeniu pórovitosti ako je tomu pri tkaninách zo 100% bavlny



Graf č. 8 - Vplyv vlhkosti na meranú relatívnu priepustnosť a priedušnosť

Plošná hmotnosť materiálu pod názvom Mramor je 245 g/m^2 . Priedušnosť vysušeného vzorku bola $210 \text{ l/m}^2/\text{s}$ a so stúpajúcim hmotnostným prívážkom hodnota priedušnosti klesala. Najnižšou zmerateľnou hodnotou priedušnosti bola pri 80% hmotnostnom prívážku $17,8 \text{ l/m}^2/\text{s}$. Zaujímavým javom je, že opäť dochádza k nemožnosti merať hodnotu priedušnosti pri hmotnostnom prívážku vyššom ako 80%.

Relatívna priepustnosť suchého materiálu bola zistená 49%. Sklon vlozenej regresnej priamky sa výrazne nelíši od regresných priamok u ostatných materiálov rovnakého materiálového zloženia.

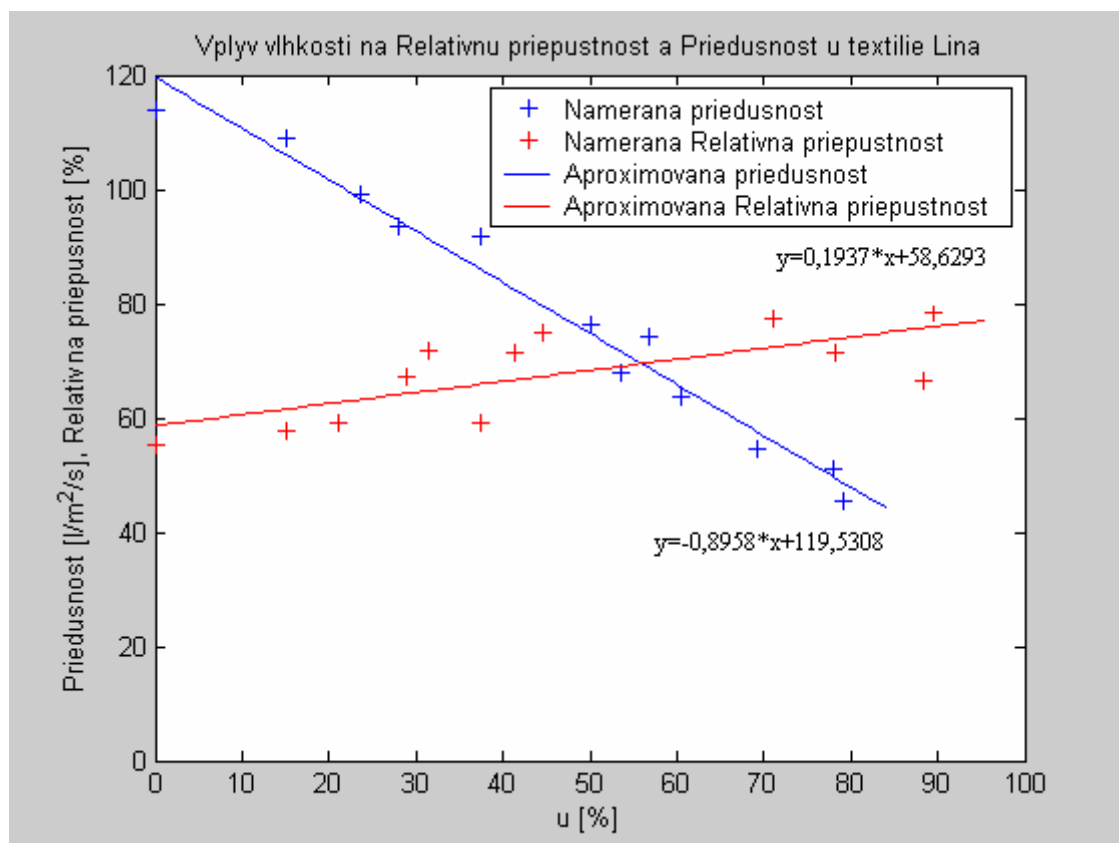


Graf č. 9 - Vplyv vlhkosti na relatívnu priepustnosť a priedušnosť textílií Jaspis a Anton

V grafe č. 9 sú znázornené charakteristiky priedušnosti a relatívnej priepustnosti pre dve textílie pri rovnakom materiálovom zložení, rovnakej väzbe a rovnakej plošnej hmotnosti. Jedná sa o textílie s obchodnými názvami Jaspis a Anton. Zloženie materiálu je rovnaké ako u predchádzajúcich materiálov 65%PES/35%Ba. Plošná hmotnosť oboch hodnotených vzorkov je 225 g/m^2 . Dostava oboch materiálov je odlišná, Anton má väčšiu dostavu, oproti tomu pri výrobe Jaspisu boli použité hrubšie priadze (viď. tabuľka č. 1).

Za vysušeného stavu vykazoval väčšiu priedušnosť materiál Jaspis, teda materiál s menšou dostavou, ale hrubšími priadzami. Regresné priamky priedušnosti pre oba materiály majú rovnaký sklon, sú iba vzájomne posunuté. Tento jav možno vysvetliť odlišnou dostavou oboch materiálov a druhmi použitých priadzí.

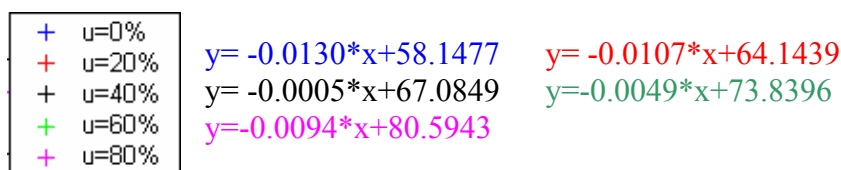
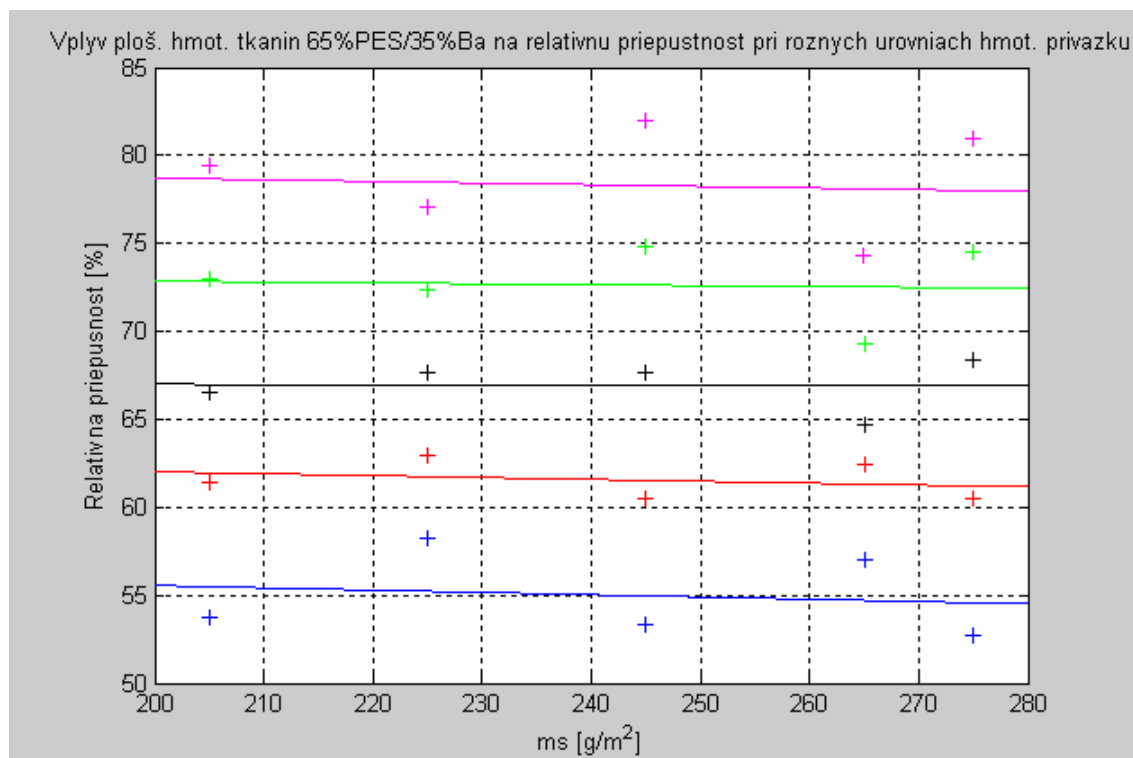
Hodnota relatívnej priepustnosti pre oba materiály sa významne nelíšili. Oba súbory dát môžeme považovať za zhodné. Bola vložená regresná priamka pre tieto súbory dát. Maximálny hmotnostný prívazok bol 100%, viac vlhkosti nebolo možné v materiáloch udržať. To je spôsobené zložením materiálov, kde len 35% bavlny je sorpčnej a zostávajúcich 65% polyesteru drží vlhkosť adhéznymi silami na svojom povrchu.



Graf č. 10 – Vplyv vlhkosti na relatívnu priepustnosť a priedušnosť tkaniny Lina

Plošná hmotnosť materiálu s obchodným označením Lina je 205 g/m^2 . Priedušnosť vysušeného vzorku bola zachytená na hodnote $114 \text{ l/m}^2/\text{s}$ a so stúpajúcim hmotnostným prívazkom hodnota priedušnosť opäť klesala. Najnižšia merateľná hodnota priedušnosti pre túto textíliu bola $45 \text{ l/m}^2/\text{s}$ pri hmotnostnom prívazku 79,2%. Za vyššieho vlhkového prívazku nebolo možné hodnotu priedušnosti zmerať.

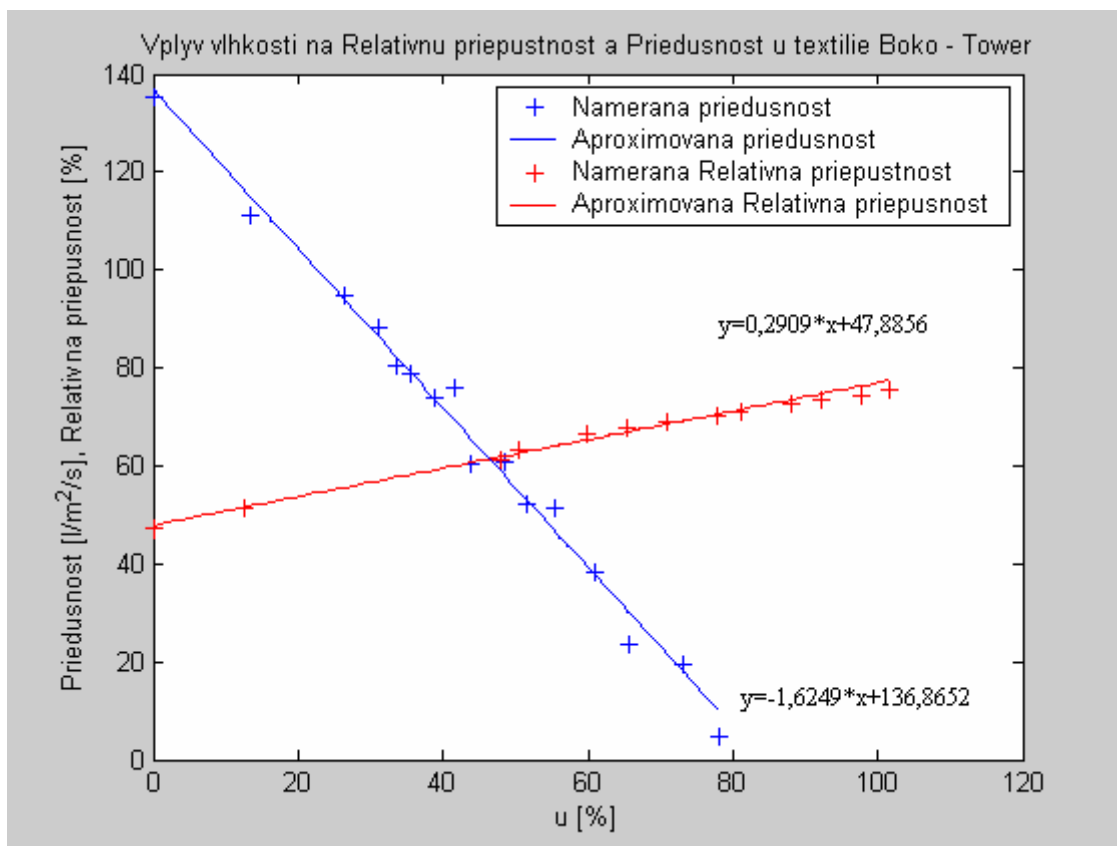
Relatívna priepustnosť vysušeného materiálu bola 55% a pri stúpajúcom hmotnostnom prívazku sa zvyšovala. Sklon vlozenej regresnej priamky sa nelíšil od regresných priamok ostatných materiálov obdobného zloženia.



Graf č.11 – Vplyv plošnej hmotnosti tkanín s materiálovým zložením 35%PES/35%Ba na relativnu priepustnosť pri rôznych úrovniach hmotnostného prívažku

Na grafe č.11 je znázornená závislosť relatívnej priepustnosti na plošnej hmotnosti zmesových textílií. Tento graf bol skonštruovaný z dát nameraných pre jednotlivé materiály popísané vyššie. Aj napriek mierne odlišnej štruktúre tkanín bola braná ako parameter porovnávania plošná hmotnosť textílií. Z grafu je vidieť lineárna závislosť relatívnej priepustnosti na plošnej hmotnosti. Z výsledkov je možné vyvodit', že v testovanom prípade nebol výrazný vplyv štruktúry tkanín. Naopak plošná hmotnosť tkanín výrazne ovplyvnila relatívnu priepustnosť. Narozdiel od grafu č. 5 nie je pri materiáloch s podielom 65% polyesteru viditeľný strmý pokles hodnoty relatívnej priepustnosti pri stúpajúcej plošnej hmotnosti materiálu. Tento výsledok môže byť vysvetlený takto: Keď sa meria tkanina zo 100% bavlny, tak odparujúca sa para zostáva v materiály. Meranie je tak krátke, že neprechádzajúce médiu nedokáže prejsť skrz. Preto je strmší pokles relatívnej priepustnosti pri 100% bavlnených tkanín než u tkanín s použitím

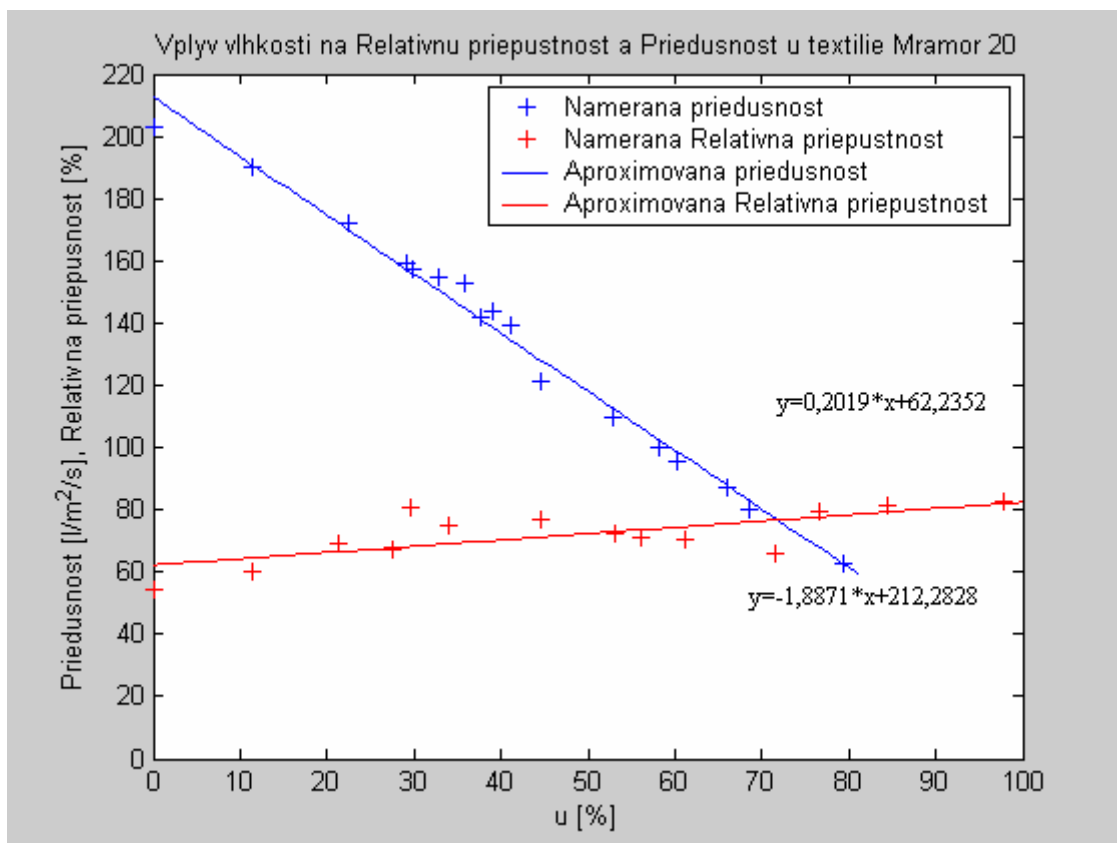
vyššieho podielu polyesteru. V zmesovej textílii výrazne absorbuje len 1/3 priadzi (bavlnených) a tak je relatívna priepustnosť viac či menej konštantná.



Graf č.12 – Vplyv vlhkosti na relatívnu priepustnosť a priedušnosť tkaniny

Tkanina s obchodným názvom Boko –Tower je oproti predchádzajúcim tkaninám odlišná. Plošná hmotnosť tejto textílie je 329 g/m². Podiel bavlny a polyesteru v jej štruktúre je v pomere 60%Ba/40%PES. Priedušnosť suchého materiálu je možné sledovať na hodnote 135 l/m²/s a v maximálnom možnom zavlhčení, ktoré bolo merateľné na prístroji FX3300 5 l/m²/s. Tento údaj bol zmeraný pri hmotnostnom prívažku 79,9%.

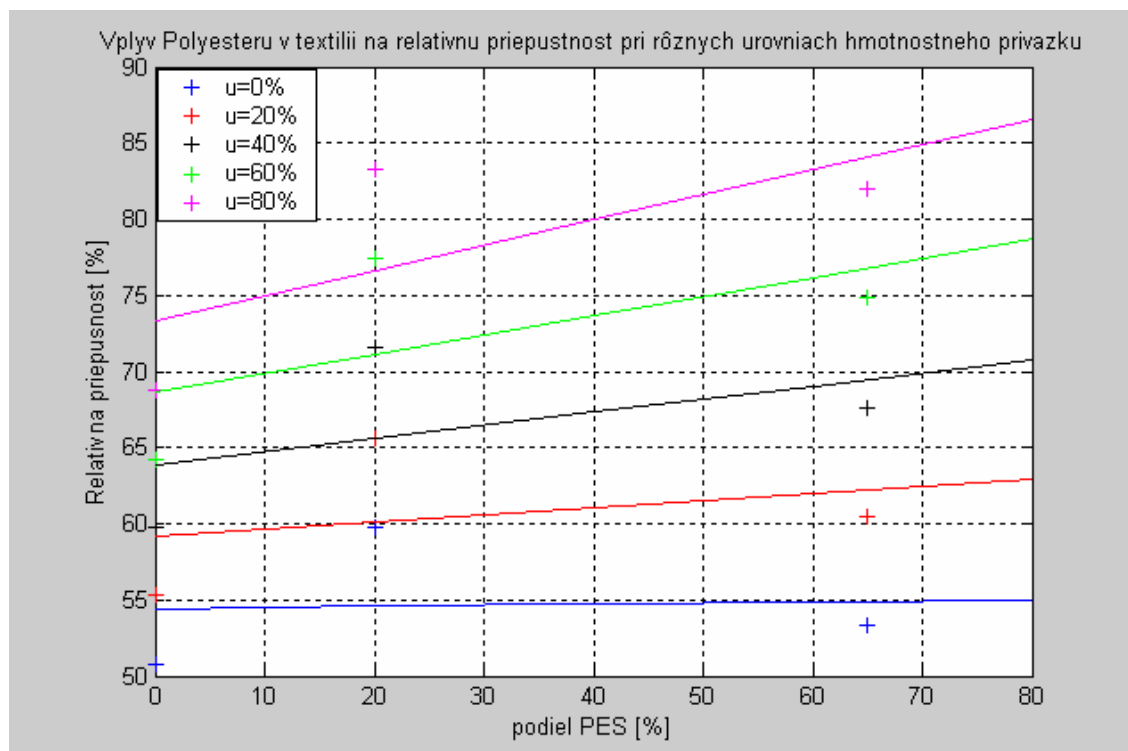
Relatívna priepustnosť suchého materiálu bola zaznamenaná na 47,5%. Pri hmotnostnom prívažku cca. 100% sa relatívna priepustnosť pohybovala na hodnote 75%. Z grafu č.12 je vidieť silnú lineárnu závislosť relatívnej priepustnosti na hmotnostnom prívažku.



Graf č.13 - Vplyv vlhkosti na relatívnu priepustnosť a priedušnosť tkaniny

Textília s názvom Mramor 20 má rovnakú plošnú hmotnosť 245 g/m^2 , ako Mramor popísaný v grafe č. 8. Narozdiel od predchádzajúcej tkaniny má tento vzorok odlišné materiálové zloženie. Nachádza sa v ňom 20% polyesteru a 80% bavlny. Priedušnosť suchého vzorku začínala od hodnoty $203 \text{ l/m}^2/\text{s}$ a klesá až na $63 \text{ l/m}^2/\text{s}$ pri hmotnostnom prívažku 79,3%. Porovnávaním s tkaninou Mramor, ktorá má iné materiálové zloženie, avšak rovnakú plošnú hmotnosť je možné pozorovať rovnaký priebeh priedušnosti pri nižších úrovniach hmotnostného prívažku. Vplyvom väčšieho podielu bavlny u textílie Mramor 20 pri vyšších hodnotách hmotnostného prívažku viditeľne klesá priedušnosť. Tento jav spôsobuje botnanie bavlnených vlákien v textílii a následné zmenšovanie pórov.

Relatívna priepustnosť suchej textílie Mramor 20 je 54%. Pri hmotnostnom prívažku 98% rastie relatívna priepustnosť až na 83%, čo je nárast o 29%.

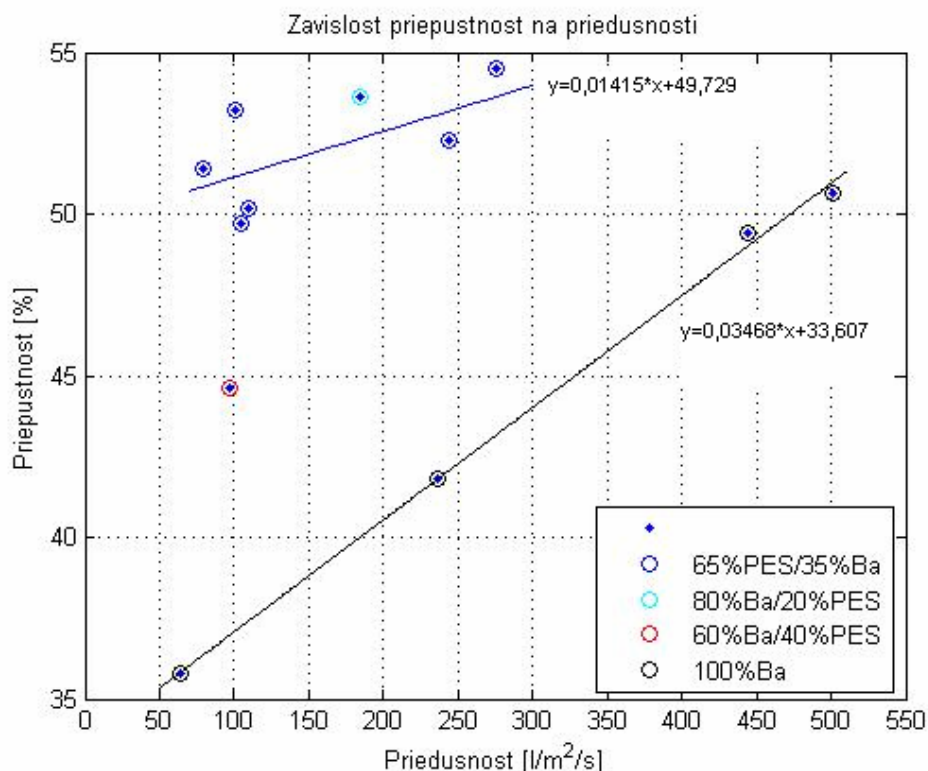


Graf č.14 – Vplyv polyesteru v textílii na relatívnu priepustnosť pri rôznych úrovniach vlhkosti

V grafe č.14 je vyjadrená závislosť hodnoty relatívnej priepustnosti na percentuálne zastúpenie polyesteru v materiály. Vo všetkých prípadoch sa jednalo o zmes bavlny a polyesteru. V prípade nulového podielu polyesteru sa jednalo o 100% bavlnený materiál. Najvyššie zastúpenie polyesteru v materiály bolo 65%. Všetky použité materiály mali plošnú hmotnosť v intervale od 245 do 250 g/m². Bol sledovaný vplyv percentuálneho zastúpenia polyesteru v materiály na relatívnu priepustnosť pri piatich stupňoch zavlhčenia (0, 20, 40, 60 a 80%). Pri vysušených vzorkov (0% hmotnostný prívazok) bola hodnota relatívnej priepustnosti skoro konštantná, nebola pozorovaná závislosť materiálového zloženia na výslednej hodnote priepustnosti. So stúpajúcou hladinou zavlhčenia je sledovaný stále významnejší vplyv zastúpenia polyesteru v zmesi. Čím väčší je percentuálny podiel polyesteru v materiály, tým je relatívna priepustnosť materiálu vyššia.

Pozorovaný jav možno vysvetliť sorpčnými schopnosťami bavlny. Pri zavlhčení dochádza k nasiaknutiu vlhkosti do bavlny a následne jej botnaniu. To

má vplyv na zníženie pórovitosti materiálu, zvyšuje sa zaplnenie. Čím je pórovitosť materiálu nižšia, tým nižšia je aj výsledná relatívna priepustnosť vodnej pary. Túto úvahu môže podložiť meranie vzorkov za suchého stavu, kde nie je výsledná hodnota ovplyvnená sorpčnými vlastnosťami materiálu.



Graf č. 15 – Závislosť priepustnosti na priedušnosti tkanín s rôznym podielom bavlny a polyesteru bez zavlhčenia

Na grafe č. 15 boli vynesené namerané hodnoty všetkých skúmaných tkanín bez podielu vlhkosti. Pri bavlnených tkaninách je vidieť silnú závislosť plošnej hmotnosti na priedušnosti a priepustnosti. Tkanina Mofos s najväčšou plošnou hmotnosťou vykazovala najnižšiu relatívnu priepustnosť a priedušnosť. Naopak textília zo 100% bavlny pod obchodným názvom Solan vykazovala najvyššiu priedušnosť. Tkaniny vyrobené z podielu polyesteru a bavlny v pomere 65/35% vykazovali približne rovnakú relatívnu priepustnosť avšak líšili sa v priedušnosti. Tento jav je možné vysvetliť odlišnou plošnou hmotnosťou a dostavou textílií.

Záver

V tejto práci boli skúmané vlastnosti tkanín využívajúcich sa na výrobu pracovných odevov. Vybrané materiály sú vyrobené buď zo 100% bavlny, alebo kombináciou bavlny a polyesteru pri rôznej plošnej hmotnosti, ktorá sa pohybovala v rozmedzí od 370 do 205 g/m². Tieto tkaniny boli hodnotené z hľadiska relatívnej priepustnosti a priedušnosti vo vlhkom stave.

Tkaniny boli hodnotené z hľadiska relatívnej priepustnosti na prístroji Permetest, ktorý pracuje na princípe skin modelu. Tento prístroj hodnotí priepustnosť vodných pár pri priamom kontakte pokožky a textílie. Tým sa narázdil od niektorých iných prístrojov dosahuje pravdivejších výsledkov, ktoré pomáhajú zlepšovať komfortné vlastnosti materiálov využívajúcich sa na odievanie.

Hodnotené textílie vyrobené zo 100% bavlny vykazovali počas merania relatívnej priepustnosti od suchého stavu až po maximálne možné zavlhčenie lineárnu závislosť na plošnej hmotnosti. Pri hodnotení textílie Mofos s najvyššou plošnou hmotnosťou 370 g/m², bola hodnota relatívnej priepustnosti suchého vzorku 43,9%. Pri maximálnom možnom zavlhčení 149,6% sa relatívna priepustnosť zvýšila na 72,2%. Hodnotením priedušnosti tejto textílie pri tlakovom spáde 200 Pa, bola hodnota u suchého vzorku na úrovni 115 l/m²/s. Hodnotenie textílie s maximálne možným zavlhčením 149,6% nebolo možné, lebo rozsah meracej stupnice na prístroji FX 3300 neumožňoval zaznamenať príslušnú hodnotu priedušnosti. Pri poklese hmotnostného prívážku na 76,2% bola nameraná priedušnosť 10.9 l/m²/s.

Ďalším skúmaným materiálom o nižšej plošnej hmotnosti 300 g/m², avšak s rovnakým materiálovým zložením bol Proban. Ten vykazoval relatívnu priepustnosť v suchom stave 52% čo je o 8% viac ako u materiálu Mofos. Pri zvyšovaní vlhkosti v tkanine lineárne narastala aj priepustnosť vodných pár. S hmotnostným prívážkom 130,2% sa zvýšila relatívna priepustnosť na 79,1%. V suchom stave táto textília zaznamenala viac ako dvojnásobný nárast priedušnosti 273 l/m²/s oproti predchádzajúcemu vzorku. Po maximálne možnom

zavlhčení bola situácia merania priedušnosti ako v prvom prípade a to taká že ju nebolo možné zmerať na stupnici prístroja. Pri poklese hmotnostného prívažku na 76,4% bola priedušnosť 101 l/m²/s. Oproti predchádzajúcej textílii sa nárast priedušnosti zvýšil až 10 násobne.

Textília Kadem bola takisto ako aj predchádzajúce tkaniny vyrobená zo 100% bavlny, avšak s nižšou plošnou hmotnosťou 250 g/m² a nižšou dostavou. Pri meraní priedušnosti suchého vzorku bol zaznamenaný výrazný rozdiel oproti predchádzajúcim tkaninám. Hodnota priedušnosti bola 429 l/m²/s. So stúpajúcou vlhkosťou až 79,3% klesala priedušnosť na 143 l/m²/s. Oproti výraznému nárastu priedušnosti v suchom stave sa pri skúmaní relatívnej priepustnosti textílie príliš nelíšili. U suchého vzorku bola priepustnosť 50,9%. Po pridaní maximálnej možnej vlhkosti 139,1% sa relatívna priepustnosť zvýšila na 78,7%.

Ďalším hodnoteným materiálom bol Solan. Táto tkanina mala veľmi podobnú dostavu ako predchádzajúci materiál Kadem, avšak nižšiu plošnú hmotnosť 230 g/m². Tak isto ako aj v predchádzajúcom prípade pri meraní priedušnosti suchého vzorku bola zaznamenaná hodnota oproti prvým dvom materiálom niekoľkonásobne vyššia 509 l/m²/s. Tento nárast spôsobila nízka dostava. Pri hmotnostnom prívažku 82,1% klesla priedušnosť na 159 l/m²/s. Relatívna priepustnosť tohto materiálu v suchom stave bola 47,7%. Zo stúpajúcim hmotnostným prívažkom až 121% narastala aj priepustnosť materiálu. Zaznamenaná hodnota relatívnej priepustnosti bola 74,3%.

Všetky použité bavlnené tkaniny vykazovali pri zvyšovaní vlhkosti pokles priedušnosti v závislosti na plošnej hmotnosti a dostave. Tento jav je možné vysvetliť na základe sorpčných schopností bavlny. Čím je vyšší podiel vlhkosti v štruktúre tkaniny, tým sa znižuje pórovitosť v dôsledku botnania vlákien. Vplyvom zvyšovania sa vlhkosti by sa dalo predpokladať, že aj relatívna priepustnosť bude mať klesajúcu tendenciu. Ako však bolo zistené z meraní nie je tomu tak. Vysvetlenie tohto javu môže byť nasledujúce: Pri vyššom podiele vlhkosti v materiály dochádza k absorpcii tekutiny hydrofilnou textíliou. Z povrchu zavlhčenej textílie sa následne odparuje médium (voda). Pri meraní sa zaznamenáva odpar vodných pár. Pri meraní zavlhčenej textílie sa výsledný odpar

skladá z dvoch častí. Prvou je odpar z meracej hlavice prístroja Permetest a druhou odpar z povrchu zavlhčenej textílie.

Pri hodnotení priedušnosti a relatívnej priepustnosti tkanín vyrobených s 65% podielom polyesteru a 35% podielom bavlny bolo zistené, že relatívna priepustnosť takisto ako aj u materiálov zo 100% bavlny stúpa so zvyšujúcou sa vlhkosťou.

Textília Korál s plošnou hmotnosťou 275 g/m^2 vykazovala v suchom stave priedušnosť $131 \text{ l/m}^2/\text{s}$. So zvyšujúcou sa vlhkosťou až na úroveň 79,8% bol zaznamenaný pokles priedušnosti na $29,5 \text{ l/m}^2/\text{s}$.

Relatívna priepustnosť v suchom stave tohto materiálu bola 50,4%. Pri maximálnom možnom zavlhčení 93% bola relatívna priepustnosť 85,5%. Ako je možné vidieť maximálne možné zavlhčenie (hmotnostný prívažok) poklesol oproti materiálom vyrobených zo 100% bavlny. Tento jav je možné vysvetliť na základe vyššieho podielu polyesteru v štruktúre. To má za následok nižšiu schopnosť materiálu prijímať vlhkosť. Do štruktúry materiálu prijíma tekutinu iba 1/3 vlákien (bavlnených). 2/3 vlákien držia vlhkosť na svojom povrchu adhéznymi silami (polyester).

Materiál Meteor s plošnou hmotnosťou 265 g/m^2 v suchom stave vykazoval relatívnu priepustnosť 57,3% a priedušnosť $134 \text{ l/m}^2/\text{s}$. Zo zvyšujúcim sa hmotnostným prívažkom pri hodnotení relatívnej priepustnosti na 95,5% bola nameraná hodnota 70,6%. Priedušnosť textílie bola $17,3 \text{ l/m}^2/\text{s}$ na úrovni hmotnostného prívažku 78,9%.

Tkaniny Jaspis a Anton s rovnakou plošnou hmotnosťou 225 g/m^2 vykazovali v zanedbateľnej miere v suchom stave rovnakú priedušnosť cca. $170 \text{ l/m}^2/\text{s}$ a relatívnu priepustnosť 50%. Vlhké textílie s hmotnostným prívažkom cca. 78% zaznamenali oproti suchému stavu pokles priedušnosti o $140 \text{ l/m}^2/\text{s}$. Oproti tomu bol nárast relatívnej priepustnosti vzhľadom na suchý stav o cca. 30% pri hmotnostnom prívažku 85%.

Odevný materiál Lina s najnižšou plošnou hmotnosťou 205 g/m^2 vykazovala v suchom stave relatívnu priepustnosť 55,1% a priedušnosť $114 \text{ l/m}^2/\text{s}$. Pri maximálnom možnom zavlhčení 79,1% pre meranie priedušnosti bola

zistená hodnota $45,4 \text{ l/m}^2/\text{s}$. Meraním relatívnej priepustnosti s hmotnostným prívažkom 89,5% sa zistila hodnota 78,3%.

Textílie vyrobené s podielom polyesteru a bavlny v pomere 65/35% tak ako aj predchádzajúce bavlnené textílie vykazovali, že s rastúcim podielom vlhkosti stúpa relatívna priepustnosť a naopak klesá priedušnosť.

Textília Boko – Tower s podielom 40% polyesteru a 60% bavlny vykazovala v suchom stave priedušnosť $135 \text{ l/m}^2/\text{s}$ a relatívnu priepustnosť 47,5%. Vo vlhkom stave s maximálnym možným hmotnostným prívažkom pre priedušnosť 78,1% bola nameraná hodnota $4,88 \text{ l/m}^2/\text{s}$. Pri hmotnostnom prívažku 101,5% bola zistená relatívna priepustnosť 75,5%. U tohto vzorku je možné pozorovať ako sa so zvyšujúcim podielom bavlnených vlákien v štruktúre textílie zvyšuje aj možnosť prijímať vyšší podiel vlhkosti.

Poslednou hodnotenou textíliou bola tkanina s obchodným názvom Mramor 20. Tento materiál bol vyrobený podielom 80% bavlny a 20% polyesteru. Jeho plošná hmotnosť bola 245 g/m^2 . V suchom stave bola hodnota priedušnosti $203 \text{ l/m}^2/\text{s}$ a hodnota relatívnej priepustnosti 54,1%. Vo vlhkom stave s hmotnostným prívažkom 79,3% nastal pokles priedušnosti na $62,6 \text{ l/m}^2/\text{s}$. Naopak tak ako aj v predchádzajúcich prípadoch so zvyšujúcim sa podielom vlhkosti v štruktúre tkaniny stúpala aj relatívna priepustnosť až na 82,9% pri hmotnostnom prívažku 97,9%.

Všetky hodnotené textílie vykazovali, že s rastúcim podielom vlhkosti stúpa relatívna priepustnosť a naopak klesá priedušnosť. Posun týchto dvoch ukazovateľov po osiach grafov prezentovaných v experimentálnej časti práce vo veľkej miere závisí na plošnej hmotnosti, materiálového zloženia a dostave odevných materiálov.

Pri hodnotení komfortných vlastností odevných materiálov je dôležitým ukazovateľom ich priedušnosť. Všeobecne platí, že čím je priedušnosť materiálu vyššia, tým sa predpokladá vyšší komfort danej textílie. Tento fakt platí ak túto vlastnosť materiálu hodnotíme v suchom stave. Opak však nastáva ak sa daný odevný materiál zavlhčí. V takomto prípade je lepšia textília, ktorá je menej priedušná, lebo má nižší ochladzovací efekt ako textília s väčším podielom pórov čo v konečnom dôsledku zvyšuje jej komfort. Na druhej strane platí aj pri vlhkých

podmienkach, že čím vyššia relatívna priepustnosť textílií tým lepšie komfortné vlastnosti daného textilného materiálu.

Merania spomenuté v úvode práce hodnotili priepustnosť vlhkých textílií metódou Turt dish. Táto technika skúmania priepustnosti vodných pár môže byť aplikovaná na rôzne technické textílie, avšak na skúmanie priepustnosti vodných pár medzi odevom a pokožkou nie je najvhodnejšia. V prvom rade táto metóda nesimuluje vzťah medzi pokožkou a textíliou, doba experimentu je príliš dlhá čím sa ovplyvňujú podmienky experimentu. V tejto práci bol na hodnotenie relatívnej priepustnosti použitý prístroj Permetest, ktorý ako už bolo spomenuté pracuje na princípe skin modelu. Práve takéto simulovanie prechodu vodných pár cez textíliu, ktorá sa dotýka pokožky nám umožňuje lepšie pochopiť fyzikálne procesy odohrávajúce sa na ľudskej pokožke. Práve vďaka takýmto prístrojom môžu byť vyvíjané dokonalejšie materiály, ktoré nás budú lepšie chrániť pred klimatickými vplyvmi či už v práci, alebo pri oddychu. Práve parameter relatívnej priepustnosti a priedušnosti textílie vo vlhkom stave by mohol byť v budúcnosti uvádzaný ako jeden z hlavných faktorov komfortných vlastností odevných materiálov.

Literatúra:

1. Ren, Y, J, Ruckman, J, E.: Water vapour transfer in wet waterproof breathable fabrics, The Manchester Metropolitan University, 2003
2. Růžicková, D.: Oděvní materiály. Skriptum, Technická univerzita v Liberci, 2003
3. Hes, L, Sluka, P.: Úvod do komfortu textilií. Skriptum, Technická univerzita v Liberci, 2005
4. Militký, J.: Textilní vlákna. Skriptum, Liberec, 2002
5. Lukáš, D.: Materiálové inženýrství netkaných textilií. Skriptum, Liberec, 2003
6. Wiener, J., Dembický, J.: Wetting of anisotropic surfaces. Strutex, 2005

Zoznam príloh:

1. Vzorok použitých skúmaných textílií
2. Tabuľky nameraných hodnôt všetkých skúmaných textílií
3. Vytvorený skript pre program Matlab, ktorým boli graficky vyhodnocované merania

Zoznam obrázkov, tabuliek a grafov

Obrázok č.1 - Odvod vlhkosti z povrchu organizmu

Obrázok č.2 - Odvod potu prvou textilnou vrstvou

Obrázok č.3 - Odvod difúziou

Obrázok č.4 – Vysychanie textílie

Obrázok č.5 – Podiel jednotlivých odvodov ako funkcia teploty kože.

Obrázok č.6 – Gravimetrické metódy merania priepustnosti textílií pre vodné páry

Obrázok č.7 - Farnworthov difúzny meter

Obrázok č.8 - Meracia jednotka s kontrolou teploty a prívodom vody

Obrázok č.9 - Vyhrievaný ochranný kryt pre zníženie tepelných strát poréznej meracej dosky

Obrázok č.10 – Model pokožky pre meranie regulačného účinku z parnej fázy

Obrázok č.11 - Schéma prístroja Permetest

Obrázok č.12– Schéma prístroja na meranie priedušnosti

Obrázok č.13 – Prístroj FX 3300 na meranie priedušnosti textílií.

Obrázok č.14 - Znázornenie smeru pôsobenia povrchových napätí na kvapke

Tabuľka č.1 – Použité materiály na hodnotenie relatívnej priepustnosti vodnej pary a priedušnosti

Graf č.1 až 4 – Vplyv vlhkosti na meranú relatívnu priepustnosť a priedušnosť

Graf č.5 – Závislosť relatívnej priepustnosti na plošnej hmotnosti materiálov zo 100% bavlny.

Graf č.6 až 8 - Vplyv vlhkosti na meranú relatívnu priepustnosť a priedušnosť

Graf č. 9 - Vplyv vlhkosti na relatívnu priepustnosť a priedušnosť textílii Jaspis a Anton

Graf č.10 – Vplyv vlhkosti na relatívnu priepustnosť a priedušnosť tkaniny Lina

Graf č.11 – Vplyv plošnej hmotnosti tkanín s materiálovým zložením

65%PES/35%Ba na relatívnu priepustnosť pri rôznych úrovniach hmotnostného prívažku

Graf č.12 – Vplyv vlhkosti na relatívnu priepustnosť a priedušnosť tkaniny Boko-Tower

Graf č.13 - Vplyv vlhkosti na relatívnu priepustnosť a priedušnosť tkaniny
obchodným názovom Mramor 20

Graf č.14 – Vplyv polyesteru v textílii na relatívnu priepustnosť pri rôznych
úrovniah vlhkosti

Graf č.15 - Závislosť priepustnosti na priedušnosti tkanín s rôznym podielom
bavlny a polyesteru bez zavlhčenia

Príloha č. 2

Tabuľky nameraných hodnôt všetkých skúmaných textílií

Anton			
Hmotnostný prívazok [%]	Priedušnosť [l/m ² /s]	Hmotnostný prívazok [%]	Relat. priepustnosť[%]
0,00	165	0,00	49,2
8,14	153	8,15	52,9
18,74	130	19,21	59,3
31,76	143	21,40	62,1
36,19	115	26,20	66,4
43,54	106	35,70	75,3
51,29	62,4	42,90	71,8
57,43	77,7	69,48	75,4
61,74	54,2	73,80	73,2
67,52	45,5	80,50	77,4
72,70	21,7	87,45	79,1
79,70	24,1	-	-

Teplota v laboratóriu: 23,7°C

Vlhkosť v laboratóriu: 40%

Suchý vzorok (Anton)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
167	47
166	51,1
162	49,5

Teplota v laboratóriu: 24,1°C

Vlhkosť v laboratóriu: 42%

Suchý vzorok (Anton)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	165,0	49,2
smerodatná odchýlka	2,16	1,69
variačný koeficient	1,31	3,43

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Anton)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
156	54,9
150	52,6
153	51,1

Teplota v laboratóriu: 24,3°C

Vlhkosť v laboratóriu: 41%

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Anton)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	153,0	52,9
smerodatná odchýlka	2,45	1,56
variačný koeficient	1,60	2,96

Boko - Tower			
Hmotnostný prívazok [%]	Priedušnosť [l/m ² /s]	Hmotnostný prívazok [%]	Relat. priepustnosť[%]
0,00	135	0,00	47,5
15,20	115	15,00	52,4
26,33	94,7	48,03	61,1
31,13	88,1	50,39	63,4
33,49	80,6	59,84	66
35,46	78,6	63,70	65,7
38,92	73,8	73,23	67,1
41,49	75,8	77,95	67,9
43,75	60,3	81,10	68,2
48,59	60,8	85,00	72,5
51,44	52,4	88,19	73,5
57,03	51,4	97,64	74,2
61	38,1	101,57	75,5
65,63	23,4	-	-
73,15	19,3	-	-
78,13	4,88	-	-

Teplota v laboratóriu: 25,6°C

Vlhkosť v laboratóriu: 48%

Suchý vzorok (Boko - Tower)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
139	48,3
134	46,7
134	47,9

Teplota v laboratóriu: 25,2°C

Vlhkosť v laboratóriu: 48%

Suchý vzorok (Boko - Tower)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	135,7	47,6
smerodatná odchýlka	2,36	0,68
variačný koeficient	1,74	1,43

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Boko - Tower)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
117	53,1
118	53,9
111	50,8

Teplota v laboratóriu: 24,9°C

Vlhkosť v laboratóriu: 50%

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Boko - Tower)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	115,3	52,6
smerodatná odchýlka	3,09	1,31
variačný koeficient	2,68	2,50

Jaspis			
Hmotnostný prívazok [%]	Priedušnosť [l/m ² /s]	Hmotnostný prívazok [%]	Relat. priepustnosť[%]
0,00	182	0,00	54,5
7,21	171	8,11	61,3
17,75	152	20,50	65,7
29,30	126	31,80	70,3
31,51	124	44,96	72,7
34,10	135,	50,00	74,6
36,86	113	56,20	74,8
41,76	108	70,19	61,2
57,07	75,7	89,48	67,7
59,10	62,2	95,50	75,5
66,31	63,7	-	-
68,15	54,5	-	-
77,26	39,1	-	-

Teplota v laboratóriu: 23,7°C

Vlhkosť v laboratóriu: 40%

Suchý vzorok (Jaspis)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
185	55,1
179	57,3
182	51,1

Teplota v laboratóriu: 24,1°C

Vlhkosť v laboratóriu: 42%

Suchý vzorok (Anton)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	182,0	54,5
smerodatná odchýlka	2,45	2,57
variačný koeficient	1,35	4,71

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Jaspis)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
172	60,3
171	64,2
170	59,5

Teplota v laboratóriu: 24,3°C

Vlhkosť v laboratóriu: 41%

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Anton)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	171,0	61,3
smerodatná odchýlka	0,82	2,05
variačný koeficient	0,48	3,35

Kadem			
Hmotnostný prívazok [%]	Priedušnosť [l/m ² /s]	Hmotnostný prívazok [%]	Relat. priepustnosť[%]
0,00	429	0,00	50,9
10,05	392	10,05	52,7
19,12	362	19,23	60,5
33,55	303	61,96	69,1
39,05	292	72,83	69,5
43,48	274	78,26	70,1
45,20	264	82,30	57,8
52,53	247	86,96	71,2
57,61	255	94,57	72,1
62,31	216	101,90	72,8
65,05	204	107,61	74,3
72,26	159	114,13	77,1
79,35	143	125,00	76,5
-	-	139,13	78,7

Teplota v laboratóriu: 23,4°C

Vlhkosť v laboratóriu: 42%

Suchý vzorok (Kadem)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
431	53,6
430	51,7
426	47,4

Teplota v laboratóriu: 25,4°C

Vlhkosť v laboratóriu: 39%

Suchý vzorok (Kadem)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	429,0	50,9
smerodatná odchýlka	2,16	2,59
variačný koeficient	0,50	5,10

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Kadem)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
396	52,9
391	55,4
390	49,7

Teplota v laboratóriu: 24,1°C

Vlhkosť v laboratóriu: 41%

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Kadem)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	392,3	52,7
smerodatná odchýlka	2,62	2,33
variačný koeficient	0,67	4,43

Korál			
Hmotnostný prívazok [%]	Prieđušnosť [l/m ² /s]	Hmotnostný prívazok [%]	Relat. priepustnosť[%]
0,00	131	0,00	50,4
12,70	126	13,54	59,3
20,30	106	28,80	69,1
27,32	102	31,24	71
30,77	97,3	38,50	71,4
35,17	86,6	42,30	77,7
44,23	87,3	50,13	83,3
46,71	77,6	51,34	77,9
49,72	74,5	53,80	78,7
61,28	61,5	58,39	59,1
65,28	36,2	61,50	78,9
71,84	39,6	76,99	79,2
77,34	41,5	77,93	73,1
79,82	29,5	88,89	62,8
-	-	93,06	85,5

Teplota v laboratóriu: 26,7°C
Vlhkosť v laboratóriu: 49%

Suchý vzorok (Korál)	
Prieđušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
135	48,7
131	52,1
129	50,4

Teplota v laboratóriu: 27°C
Vlhkosť v laboratóriu: 51%

Suchý vzorok (Korál)	Prieđušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	131,67	50,40
smerodatná odchýlka	2,49	1,39
variačný koeficient	1,89	2,75

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Korál)	
Prieđušnosť	Priepustnosť
129	62,7
124	61,2
126	68,4

Teplota v laboratóriu: 24°C
Vlhkosť v laboratóriu: 49%

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Korál)	Prieđušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	126,33	64,10
smerodatná odchýlka	2,05	3,10
variačný koeficient	1,63	4,84

Lina			
Hmotnostný prívažok [%]	Priedušnosť [l/m ² /s]	Hmotnostný prívažok [%]	Relat. priepustnosť[%]
0,00	114	0,00	55,1
15,00	109	15,00	57,6
23,70	99,1	21,10	59,1
28,03	93,6	28,90	67,1
37,33	91,6	31,52	71,8
50,23	76,2	37,39	59,0
53,52	67,9	41,46	71,5
56,74	74,2	44,70	75,0
60,50	63,8	71,10	77,3
69,14	54,5	78,30	71,4
78,11	51,1	88,42	66,4
79,14	45,4	89,50	78,3

Teplota v laboratóriu: 22,6°C

Vlhkosť v laboratóriu: 41%

Suchý vzorok (Lina)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
113	57,6
114	53,9
116	53,7

Teplota v laboratóriu: 21,9°C

Vlhkosť v laboratóriu: 42%

Suchý vzorok (Lina)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	114,3	55,1
smerodatná odchýlka	1,25	1,79
variačný koeficient	1,09	3,26

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Lina)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
110	59,2
106	55,8
111	57,9

Teplota v laboratóriu: 23,4°C

Vlhkosť v laboratóriu: 44%

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Lina)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	109,0	57,6
smerodatná odchýlka	2,16	1,40
variačný koeficient	1,98	2,43

Meteor			
Hmotnostný prívazok [%]	Priedušnosť [l/m ² /s]	Hmotnostný prívazok [%]	Relat. priepustnosť[%]
0,00	134	0,00	57,3
16,80	121	16,07	60,0
18,60	114	17,86	62,1
21,89	102	21,43	63,0
37,58	79,6	27,68	69,1
38,60	76,3	38,39	68,4
42,54	74,1	46,43	69,6
44,12	68,8	55,36	67,5
54,09	53,9	62,50	68,7
55,07	52,8	69,00	69,3
70,10	34,3	77,20	69,2
78,91	17,3	79,00	70,5
-	-	81,25	72,8
-	-	95,54	70,6

Teplota v laboratóriu: 25,2°C

Vlhkosť v laboratóriu: 49%

Suchý vzorok (Meteor)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
130	59,2
135	54,3
131	58,4

Teplota v laboratóriu: 24,3°C

Vlhkosť v laboratóriu: 51%

Suchý vzorok (Meteor)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	132,0	57,3
smerodatná odchýlka	2,16	2,15
variačný koeficient	1,64	3,75

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Meteor)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
119	59,1
123	63,5
121	57,5

Teplota v laboratóriu: 21,7°C

Vlhkosť v laboratóriu: 42%

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Meteor)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	121,0	60,0
smerodatná odchýlka	1,63	2,54
variačný koeficient	1,35	4,23

Mofos			
Hmotnostný prívazok [%]	Priedušnosť [l/m ² /s]	Hmotnostný prívazok [%]	Relat. priepustnosť[%]
0,00	115	0,00	43,9
9,80	104	11,65	46,1
16,45	95,7	46,17	52,1
20,49	89,9	68,50	59,0
23,76	91	87,41	62,8
28,63	80,2	95,80	63,1
34,78	69,6	106,99	64,7
38,58	60,7	111,90	64,9
43,11	60,9	115,38	65,2
58,35	38,1	119,58	65,5
66,23	27,3	125,87	66,3
68,50	22,9	128,67	68,1
76,23	10,9	130,77	68,4
-	-	134,27	69,6
-	-	144,76	71,4
-	-	149,65	72,2

Teplota v laboratóriu: 24,6°C

Vlhkosť v laboratóriu: 49%

Suchý vzorok (Mofos)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
117	45,9
119	44,1
110	41,8

Teplota v laboratóriu: 24,1°C

Vlhkosť v laboratóriu: 48%

Suchý vzorok (Mofos)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	115,3	43,9
smerodatná odchýlka	3,86	1,68
variačný koeficient	3,35	3,82

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Mofos)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
102	48,1
106	49
104	41,2

Teplota v laboratóriu: 21,6°C

Vlhkosť v laboratóriu: 41%

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	104,0	46,1
smerodatná odchýlka	1,63	3,48
variačný koeficient	1,57	7,56

Mramor 20			
Hmotnostný prívazok [%]	Priedušnosť [l/m ² /s]	Hmotnostný prívazok [%]	Relat. priepustnosť[%]
0,00	203	0,00	54,1
11,40	190	11,50	60,2
22,50	172	21,30	69,0
29,04	159	27,44	67,0
29,80	157	29,54	80,9
32,90	155	34,00	74,9
35,72	153	44,70	77,1
37,56	142	53,20	72,5
39,09	144	56,15	70,8
41,15	139	61,25	70,5
44,70	121	71,44	65,9
52,87	110	76,60	79,3
58,21	100	84,52	81,4
60,20	95,8	97,90	82,9
66,10	87,3	-	-
68,50	80,1	-	-
79,30	62,6	-	-

Teplota v laboratóriu: 23,4°C

Vlhkosť v laboratóriu: 44%

Suchý vzorok (Mramor 20)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
209	51,4
201	55,1
200	55,8

Teplota v laboratóriu: 23,8°C

Vlhkosť v laboratóriu: 45%

Suchý vzorok (Mramor 20)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	203,3	54,1
smerodatná odchýlka	4,03	1,93
variačný koeficient	1,98	3,57

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Mramor 20)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
195	60,9
189	60,7
187	59,1

Teplota v laboratóriu: 22,4°C

Vlhkosť v laboratóriu: 43%

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Mramor 20)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	190,3	60,2
smerodatná odchýlka	3,40	0,81
variačný koeficient	1,79	1,34

Mramor			
Hmotnostný prívažok [%]	Priedušnosť [l/m ² /s]	Hmotnostný prívažok [%]	Relat. priepustnosť[%]
0,00	210	0,00	49,1
10,40	185	11,31	62,4
18,17	164	14,60	57,41
24,58	152	22,86	70,13
30,37	131	25,00	73,1
36,66	120	37,50	76
40,23	113	41,94	65,4
46,60	93,4	46,62	76,5
51,06	86,9	50,00	76,6
54,87	74,3	65,66	78,1
61,67	53,6	72,18	66,3
62,5	42,2	75,00	78,9
66,24	48,1	85,06	79,9
70,15	29,3	90,83	78,9
79,9	17,8	-	-

Teplota v laboratóriu: 23°C

Vlhkosť v laboratóriu: 44%

Suchý vzorok (Mramor)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
211	48,2
213	51,2
208	48,1

Teplota v laboratóriu: 23,2°C

Vlhkosť v laboratóriu: 45%

Suchý vzorok (Mramor)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	210,7	49,1
smerodatná odchýlka	2,05	1,44
variačný koeficient	0,98	2,93

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Mramor)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
183	63,1
188	61,8
184	62,4

Teplota v laboratóriu: 22°C

Vlhkosť v laboratóriu: 43%

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Mramor)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	185,0	62,4
smerodatná odchýlka	2,16	0,53
variačný koeficient	1,17	0,85

Proban			
Hmotnostný prívazok [%]	Priedušnosť [l/m ² /s]	Hmotnostný prívazok [%]	Relat. priepustnosť[%]
0,00	273	0,00	52,0
10,81	251	15,53	57,7
17,18	240	23,97	59,1
23,02	225	29,41	63,3
25,92	218	35,29	64,4
31,15	197	40,39	64,8
34,36	192	49,58	66,7
46,22	167	59,66	67,1
54,62	154	67,70	58,0
60,10	133	71,43	66,9
63,87	112	106,72	68,8
65,91	120	112,61	73,2
74,62	101	118,49	76,6
-	-	130,25	79,1

Teplota v laboratóriu: 22,7°C

Vlhkosť v laboratóriu: 44%

Suchý vzorok (Proban)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
277	50,7
271	49,3
272	56,1

Teplota v laboratóriu: 25,6°C

Vlhkosť v laboratóriu: 51%

Suchý vzorok (Proban)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	273,3	52,0
smerodatná odchýlka	2,62	2,93
variačný koeficient	0,96	5,63

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Proban)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
255	57,4
249	59,6
250	56,1

Teplota v laboratóriu: 24,2°C

Vlhkosť v laboratóriu: 46%

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Proban)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relat. priepustnosť[%]
priemer	251,3	57,7
smerodatná odchýlka	2,62	1,44
variačný koeficient	1,04	2,50

Solan			
Hmotnostný prívazok [%]	Priedušnosť [l/m ² /s]	Hmotnostný prívazok [%]	Relatívna priepustnosť[%]
0,00	509	0,00	47,7
11,20	498	11,54	64,2
19,70	463	28,43	65,5
21,50	451	59,70	65,6
31,03	397	65,22	68,4
35,44	382	76,93	69,1
42,20	351	78,26	69,2
49,10	340	83,64	49,2
53,71	346	87,96	69,5
60,71	323	92,39	72,1
63,87	283	94,57	72,8
70,26	262	101,09	73,6
74,66	243	107,61	74,2
78,49	227	114,13	76,5
82,14	159	121,05	74,3

Teplota v laboratóriu: 23°C

Vlhkosť v laboratóriu: 45%

Suchý vzorok (Solan)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relatívna priepustnosť[%]
512	46,7
507	48,6
509	47,9

Teplota v laboratóriu: 25°C

Vlhkosť v laboratóriu: 43%

Suchý vzorok (Solan)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relatívna priepustnosť[%]
priemer	509,3	47,7
smerodatná odchýlka	2,05	0,78
variačný koeficient	0,40	1,64

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Solan)	
Priedušnosť [l/m ² /s]	Relatívna priepustnosť[%]
500	62,7
498	61,2
496	68,4

Teplota v laboratóriu: 22°C

Vlhkosť v laboratóriu: 42%

Vzorok klimatizovaný 24 hodín v Laboratóriu (Solan)	Priedušnosť [l/m ² /s]	Relatívna priepustnosť[%]
priemer	498,00	64,10
smerodatná odchýlka	1,63	3,10
variačný koeficient	0,33	4,84

